

CINZA DE CASCA DE ARROZ – UMA ADIÇÃO SUSTENTÁVEL

INÊS GRIJÓ PEREIRA

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE
CONSTRUÇÃO**

Orientadora: Professora Doutora Maria Joana Álvares Ribeiro
de Sousa Coutinho

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Saber é compreender como é que a mais insignificante das coisas está ligada ao todo;

nada existe por si só

Alain

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de demonstrar a minha gratidão à Professora Joana Sousa Coutinho, por toda a motivação, apoio e disponibilidade constante ao longo da elaboração deste trabalho, e principalmente, o ter-me despertado para esta área de trabalho que passei a adorar, e onde desejo construir a minha carreira.

À D. M^a Teresa, exponho os meus agradecimentos por se ter sempre mostrado disponível e prestativa.

Ao Fernando, ao Manuel, Paula e à Eng. Patrícia, agradeço a disponibilidade, a valiosa ajuda, e a simpatia, com que me fizeram sentir logo bem-vinda no laboratório.

Gostaria de expressar o meu agradecimento, às seguintes entidades pelo apoio material, que possibilitou a produção dos betões estudados, que a seguir enuncio: SECIL e SIKI.

Agradeço também a determinação das composições químicas das cinzas de casca de arroz E, A e θ que foram gentilmente realizadas por Dr. Rafael Tallero Morales e a sua equipa Dr César Pedrajas e Dr. Alberto Delgado do IETCC – “Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento”, ao abrigo do Projecto “VALORES” – RESIDUOS AGRO-INDUSTRIALES: FUENTE SOSTENIBLE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, financiado pela CYTED.

Aos meus amigos, agradeço o espírito de entreajuda que sempre me demonstraram.

Aos meus Pais, pois sem eles nada disto seria possível, e também à minha Família, exprimo o meu sincero e reconhecido agradecimento, por todo o apoio, carinho e amizade recebidos ao longo da minha vida.

Ao meu namorado, Ricardo, que sempre esteve ao meu lado a ajudar e incentivar-me, sobretudo nos momentos mais difíceis deste projecto, onde era nele que ia buscar força para continuar e superar todos os obstáculos, quero fazer um agradecimento muito especial.

RESUMO

A construção em Portugal e na maioria dos países integra sobretudo estruturas de betão armado, sendo consumido actualmente, em todo Mundo, cerca de uma tonelada de betão por pessoa, por ano. As preocupações actuais de sustentabilidade na construção remetem não só para o aspecto da durabilidade das estruturas de betão armado, mas também para os materiais utilizados em termos de eco-eficiência. De facto, devido ao seu grande consumo, mesmo uma pequena redução de gases com efeito de estufa (GHG), sobretudo CO₂, por tonelada de betão produzido, pode ter um impacto global significativo em termos ambientais.

Como se sabe, a produção de cimento Portland envolve um consumo elevado de energia e emissões de grandes quantidades de GHG (cerca de 1 tonelada por tonelada clínquer produzido). A indústria cimenteira procura responder rapidamente à exigência da Sociedade em reduzir as emissões de CO₂, pela utilização crescente de ligantes de cimento Portland com o uso de adições, isto é, substitutos parciais do cimento, especialmente os provenientes de subprodutos industriais, que de outro modo seriam inúteis e provavelmente depositados em aterros com risco de poluição consequente. Hoje já vários destes materiais são de uso corrente, encontrando-se incluídos na normalização em vigor. Outros materiais e resíduos encontram-se em estudo, tais como a cinza de casca de arroz.

A cinza de casca de arroz (RHA) é um subproduto agrícola que, se produzido por combustão controlada pode apresentar elevada actividade pozolânica, sendo constituída sobretudo por sílica amorfa e apresenta uma superfície específica elevada resultante da estrutura celular da casca.

O presente trabalho tem como objectivo estudar a potencialidade da aplicação de cinza de casca de arroz de várias origens, como substituto parcial do cimento Portland, no fabrico de argamassas com areia normalizada (CEN) e com agregado leve (Leca estrutural).

O programa experimental delineado para os dois tipos de argamassa incluí um primeiro estudo relativo a argamassa com areia normalizada, em que o cimento Portland foi substituído por 10% de sílica de fumo e por 10 e 15% de RHA de origem grega e de origem portuguesa, e um segundo estudo relativo a argamassa com agregado leve, em que se considerou uma substituição do cimento Portland por 10% de sílica de fumo e de RHA de origens grega e espanhola. Após a caracterização de cada material utilizado, foram produzidos provetes de cada tipo de argamassa para além dos de controlo e realizados ensaios de resistência mecânica aos 7, 28 e 90 dias assim como ensaios de durabilidade que incluíram penetração acelerada de cloretos, resistividade, carbonatação acelerada e absorção de água por capilaridade.

Embora as cinzas portuguesa e espanhola tenham dado resultados razoáveis, de um modo geral, os resultados globais ficaram aquém dos desejáveis em virtude da qualidade das próprias cinzas de casca de arroz, cujas condições de incineração se desconhece e tendo-se constatado posteriormente, que exibiam um nível de finura insuficiente, demonstrando a importância do controlo de produção das mesmas.

PALAVRAS-CHAVE: argamassa, durabilidade, cinza de casca de arroz, actividade pozolânica, substituição parcial do cimento.

ABSTRACT

Construction industry in Portugal and most countries mainly comprises reinforced concrete structures, with current world average consumption of concrete about 1 tonne per year per person. Present concern on sustainability in construction embraces not only durability of concrete structures, but also eco-efficiency of materials used in concrete. As these materials are consumed in great quantity, a small reduction in Greenhouse Gases (GHG), especially CO₂, per ton of concrete produced, may turn out to impart a significant environmental positive effect.

It is well known that Portland cement production is an energy-intensive industry, associated by a great amount of GHG emissions (about 1 ton of CO₂ per ton of clinker produced). The cement industry has been trying to respond to social concern in terms of controlling CO₂ emissions by increasing production of binders based on Portland cement. These include partial cement replacement materials, this is, additions, mainly industrial by-products, which otherwise would be considered waste and therefore could be directed for landfill with possible pollution and contamination risks. Today, several of these materials are commonly used and considered in standards. Other materials and waste materials are being tested such as Rice Husk Ash (RHA).

RHA is an agricultural waste material obtained from controlled incineration of rice husk and can present high pozzolanic reactivity. RHA is composed of amorphous silica and presents a high surface area due to the cellular physical structure of the husk.

The work presented aimed at studying applicability of RHA of various origins as a partial cement replacement in standard mortar and also in mortar with lightweight aggregate.

The layout for the experimental program included a first study concerning standard mortar where Portland cement was replaced by 10% commercially available silica fume and by 10% and 15% of three types of RHA (two Greek and one Portuguese). A second study concerned mortar with lightweight aggregate where Portland cement was also replaced by 10% commercially available silica fume and by 10% of three types of RHA (the same two Greek and one Spanish). Properties of the different materials were determined and test specimens of each mortar type, including control, were produced. Tests were carried out to ascertain strength at 7, 28 e 90 days as well as durability related properties including chloride ion penetration, resistivity, carbonation and water absorption by capillarity.

Although Portuguese and Spanish RHA presented reasonable results, final outcome was, in general, below expectations due to the quality of the RHA types used. Incineration conditions of each type were unknown and fineness was insufficient, as detected later, demonstrating the significant importance of the control production of the RHA.

KEY-WORDS: mortar, durability, rice husk ash, pozzolanic activity, partial cement replacement

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. ESTADO DA ARTE DA CINZA DE CASCA DE ARROZ.....1**1.1. INTRODUÇÃO**.....1**1.2. UTILIDADE DAS ADIÇÕES**2**1.3. CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**4

1.3.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CASCA6

1.3.2. PROCESSOS DE INCINERAÇÃO6

1.3.3. PROCESSOS DE MOAGEM12

1.3.4. CARACTERIZAÇÃO DA RHA12

1.3.5. PROPRIEDADES DA RHA13

1.3.5.1. Resistências mecânicas.....14

1.3.5.2. Resistência aos cloretos15

1.3.5.3. Resistência à carbonatação15

1.3.5.4. Resistência aos sulfatos.....15

1.3.5.5. Absorção de água por capilaridade15

1.3.5.6. Microestrutura da zona de transição15

1.3.6. IMPORTÂNCIA DA RHA16

1.4. BIBLIOGRAFIA17**2. ESTADO DA ARTE DO BETÃO LEVE**.....21**2.1. INTRODUÇÃO**.....21**2.2. TIPOS DE BETÃO LEVE**.....21**2.3. TIPOS DE AGREGADOS LEVES**.....23

2.3.1. ARGILA EXPANDIDA25

2.3.1.1. Forma e aspecto exterior dos grãos26

2.3.1.2. Comportamento térmico.....26

2.3.1.3. Caracterização granulométrica26

2.3.1.4. Baridade26

2.3.1.5. Massa volúmica	26
2.3.1.6. Absorção.....	27
2.3.1.7. Resistência dos grãos ao esmagamento	27
2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BETÃO DE AGREGADOS LEVES	28
2.4.1. VANTAGENS.....	28
2.4.1. DESVANTAGENS.....	29
2.5. APLICAÇÕES DO BETÃO LEVE	30
2.6. CONCLUSÕES	31
2.7. BIBLIOGRAFIA	31

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

33

3.1. INTRODUÇÃO

33

3.2. MATERIAIS UTILIZADOS

34

3.2.1. ARGAMASSA COM AREIA NORMALIZADA

34

3.2.1.1. Materiais

34

3.2.1.2. Quantidades

39

3.2.2. ARGAMASSA LEVE

40

3.2.2.1. Materiais

40

3.2.2.2. Quantidades

47

3.3. ENSAIOS

49

3.3.1. ENSAIOS MECÂNICOS

49

3.3.1.1. Argamassa com areia normalizada

50

3.3.1.2. Argamassa leve

51

3.3.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS.....

52

3.3.2.1. Argamassa com areia normalizada

53

3.3.2.2. Argamassa leve

56

3.3.3. ENSAIO DE RESISTIVIDADE ELÉCTRICA

58

3.3.3.1. Argamassa com areia normalizada

58

3.3.3.2. Argamassa leve

60

3.3.4. ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

62

3.3.4.1. Argamassa com areia normalizada

62

3.3.4.2. Argamassa leve

63

3.3.5. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....

64

3.3.5.1. Argamassa com areia normalizada.....	65
3.3.5.2. Argamassa leve.....	67
3.4. BIBLIOGRAFIA	69

4. CONCLUSÕES71

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS71

4.1.1. GRANULOMETRIA71

4.1.2. COMPARAÇÃO GLOBAL DOS RESULTADOS74

4.1.2.1. Argamassa com areia normalizada.....75

4.1.2.2. Argamassa leve.....76

4.1.3. RESISTÊNCIAS MECÂNICAS77

4.1.3.1. Argamassa com areia normalizada.....77

4.1.3.2. Argamassa leve.....77

4.1.4. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....77

4.1.4.1. Argamassa com areia normalizada.....77

4.1.4.2. Argamassa leve.....78

4.1.5. COEFICIENTE DE DIFUSÃO APARENTE78

4.1.5.1. Argamassa com areia normalizada.....78

4.1.5.2. Argamassa leve.....78

4.1.6. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO79

4.1.6.1. Argamassa com areia normalizada.....79

4.1.6.2. Argamassa leve.....79

4.1.7. RESISTIVIDADE ELÉCTRICA79

4.1.7.1. Argamassa com areia normalizada.....79

4.1.7.2. Argamassa leve.....79

4.2. CONCLUSÕES FINAIS.....79

4.3. TRABALHOS FUTUROS80

4.4. BIBLIOGRAFIA80

ANEXOS81

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Planta do arroz	4
Fig.2 – Análise termogravimétrica para a casca de arroz	7
Fig.3 – Curva de condições óptimas de incineração para obtenção de RHA reactiva	8
Fig.4 – Estrutura celular da RHA, utilizada no trabalho presente, vista no MEV (Microscópio Electrónico de Varrimento)	9
Fig.5 – Variação da resistência à compressão de betões em função da massa volúmica dos agregados leves (adaptado de Construction Materials, 1994)	24
Fig.6 – Grãos de argila expandida (LECA)	25
Fig.7 – Curva granulométrica a laser do cimento CEM I 42.5 R utilizado	34
Fig.8 – Sílica de fumo a olho nu e ao microscópio electrónico 20 000 vezes ampliada	35
Fig.9 – RHA portuguesa Z a olho nu e ao microscópio electrónico 2 000 vezes ampliada	36
Fig.10 – Curva granulométrica a laser da RHA portuguesa, Z	36
Fig.11 – RHA grega A a olho nu e ao microscópio electrónico 2 000 vezes ampliada	37
Fig.12 – Curva granulométrica a laser da RHA grega, A	38
Fig.13 – RHA grega Θ a olho nu e ao microscópio electrónico 2 000 vezes ampliada	38
Fig.14 – Curva granulométrica a laser da RHA grega, Θ	39
Fig.15 – RHA espanhola E a olho nu	41
Fig.16 – Curva granulométrica a laser da RHA espanhola, E	42
Fig.17 – Leca após se retirar o molde	43
Fig.18 – Peso da Leca imediatamente antes da imersão	45
Fig.19 – Secagem da Leca com a aplicação de um secador	46
Fig.20 – Aspecto da Leca após secagem	46
Fig.21 – Relação entre a absorção de água da Leca e o tempo efectivo dentro de água	47
Fig.22 – Trabalhabilidade da argamassa leve de controlo	49
Fig.23 – Máquina de ensaio à flexão e à compressão	50
Fig.24 – Resistência à Flexão, em MPa, aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa CEN	50
Fig.25 – Resistência à Compressão, em MPa, aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa CEN	51
Fig.26 – Resistência à Flexão, em MPa, aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa leve	51
Fig.27 – Resistência à Compressão, em MPa, aos 7, 8 e 90 dias, da argamassa leve	52
Fig.28 – Provetes cilíndricos	52
Fig.29 – Câmara de saturação	53
Fig.30 – Células para os cloretos	53

Fig.31 – Provates de argamassa com areia CEN após a pulverização com nitrato de prata.....	54
Fig.32 – Valores médios do Coeficiente de Difusão Aparente para os provates de argamassa com areia CEN	56
Fig.33 – Provates de argamassa leve após a pulverização com nitrato de prata.....	56
Fig.34 – Valores médios do Coeficiente de Difusão Aparente para os provates de argamassa leve ..	57
Fig.35 – Resistividade para as argamassas de areia normalizada.....	60
Fig.36 – Resistividade para as argamassas leves	61
Fig.37 – Carbonatação dos provates de argamassa normalizada.....	62
Fig.38 – Gráfico representativo da Carbonatação dos provates de argamassa normalizada	63
Fig.39 – Carbonatação dos provates de argamassa leve.....	63
Fig.40 – Gráfico representativo da Carbonatação dos provates de argamassa leve	64
Fig.41 – Pesagem dos provates e introdução de dados	65
Fig.42 – Provates de argamassa com areia normalizada CEN	65
Fig.43 – Curvas de absorção capilar e rectas de regressão linear, para os provates de controlo e para a concentração de 10% em adições, da argamassa normalizada.....	66
Fig.44 – Curvas de absorção capilar e rectas de regressão linear, para os provates de concentração de 15% em adições, da argamassa normalizada	66
Fig.45 – Provates de argamassa leve	68
Fig.46 – Curvas de absorção capilar e rectas de regressão linear, para os provates de controlo e para a concentração de 10% em adições, da argamassa leve.....	68
Fig.47 – Intervalo de variação [d(0.1) e d(0.9)] do cimento CEM I 42,5 R projectado nas diversas RHA's.....	73
Fig.48 – Comparação do desempenho de argamassas com areia normalizada.....	75
Fig.49 – Comparação do desempenho de argamassas com Leca.....	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Produção anual de arroz, e da sua casca (milhões de toneladas)	5
Tabela 2 – Condições de incineração, composições químicas, características e resistências da RHA10	
Tabela 3 – Classificação dos betões segundo a NP ENV 206-1	22
Tabela 4 – Classes de massa volúmica do betão leve	22
Tabela 5 – Classificação do agregado quanto à baridade e principais aplicações de betão com ele aplicado (adaptado de [52]).....	23
Tabela 6 – Composição química do cimento CEM I 42.5 R utilizado	34
Tabela 7 – Composição química da RHA grega, A	37
Tabela 8 – Composição química da RHA grega, Θ	39
Tabela 9 – Quantidades necessárias em m^3 , consoante o tipo de provete de argamassa CEN	40
Tabela 10 – Trabalhabilidade da argamassa CEN de controlo	40
Tabela 11 – Composição química da RHA espanhola, E	41
Tabela 12 – Características físicas da RHA espanhola, E	42
Tabela 13 – Pesos M_1 , M_2 , M_3 e M_4	43
Tabela 14 – Valores das massas volúmicas para a Leca 2/4	44
Tabela 15 – Dados para o cálculo da quantidade de Leca/ m^3	44
Tabela 16 – Evolução do peso da Leca ao longo do tempo	47
Tabela 17 – Quantidades necessárias em m^3 , consoante o tipo de provete de argamassa leve	48
Tabela 18 – Trabalhabilidade da argamassa leve de controlo	49
Tabela 19 – Coeficientes de Difusão Aparente dos provetes de argamassa CEN	55
Tabela 20 – Coeficientes de Difusão Aparente dos provetes de argamassa leve	57
Tabela 21 – Valores de Resistividade para as argamassas de areia normalizada	59
Tabela 22 – Valores de Resistividade para as argamassas leves	61
Tabela 23 – Coeficiente de Absorção dos provetes de argamassa normalizada.....	67
Tabela 24 – Coeficiente de Absorção dos provetes de argamassa leve	69
Tabela 25 – Valores de $d(0.1)$, $d(0.5)$ e $d(0.9)$ em μm	71
Tabela 26 – Percentagem de RHA que se enquadra na gama de partículas do cimento.....	74
Tabela 27 – Superfície específica dos diversos materiais obtidas no granulómetro laser	74
Tabela 28 – Comparação dos resultados obtidos para as argamassas normalizadas	75
Tabela 29 – Comparação dos resultados para as argamassas leves	76
Tabela 30 – Coeficientes de absorção em betão.....	77
Tabela 31 – Difusibilidade e resistência do betão à penetração de cloretos.....	78

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

GHG – Gás com Efeito de Estufa

CO₂ – Dióxido de Carbono

SiO₂ – Dióxido de Silício

RHA – Cinza de Casca de Arroz

K₂O – Óxido de Potássio

CSH – Gel de Silicato de Cálcio Hidratado

ITZ – Zona de Transição da Interface

CEM I 42,5 R – Cimento Portland do tipo I e classe de resistência 42.5 R

SF – Sílica de Fumo

RHA A – Cinza de Casca de Arroz Grega A

RHA Θ – Cinza de Casca de Arroz Grega Θ

RHA Z – Cinza de Casca de Arroz Portuguesa Z

RHA E – Cinza de Casca de Arroz Espanhola E

D_{ns} – Coeficiente de Difusão Aparente [m²/s]

ρ - Resistividade Eléctrica [Ω .m]

S – Coeficiente de Absorção [mg/(mm².min^{1/2})]

1

ESTADO DA ARTE DA CINZA DE CASCA DE ARROZ

1.1. INTRODUÇÃO

Actualmente tem havido uma consciencialização cada vez maior em relação aos problemas de ordem ambiental que afectam o nosso quotidiano, nomeadamente a respeito da poluição do Meio Ambiente, e do uso excessivo dos recursos naturais.

O consumo desenfreado dos recursos naturais sem a sua renovação (estima-se que a quantidade de colheitas, animais e outras biomatérias extraídas da Terra em cada ano, ultrapasse em 20%, o que o planeta consegue repor (Kluger ; Dorfman, 2002)), irá conduzir a uma situação de insustentabilidade, que tornará caótico o nosso estilo de vida.

Em termos de aquecimento global, estima-se que a temperatura média global aumente entre 1.4 e 5.8°C durante os próximos 100 anos, enquanto a sua subida no último século foi de apenas 0.6°C (Malhotra, [1998]).

Muitos factos científicos relacionam esta mudança climática à emissão de GHG (gases com efeito de estufa), sendo um dos mais importantes o dióxido de carbono, que representa 82% do total. Estes gases provocam o chamado efeito de estufa, ou seja, a radiação solar aquece a superfície da Terra, que por sua vez devolve a energia de volta para o Espaço, verificando-se que parte desta energia fica retida na atmosfera devido aos GHG's, voltando a descer para a superfície terrestre, tornando-a mais quente do que deveria ser (Darntoft, et al., 2008).

É estimado que a indústria cimenteira produza aproximadamente 5% das emissões globais de CO₂ provocadas pelo Homem, um dos principais GHG (Darntoft, et al., 2008).

É nesta envolvente que nasce uma política de Desenvolvimento Sustentável, definida pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), como: “Formas de progresso, que vão de encontro às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades” (Gartner, 2004).

Em 1997, foi assinado o Protocolo de Quioto, cujo principal objectivo foi o estabelecimento de um acordo entre os países desenvolvidos para estabilizar as emissões de GHG para cerca de 6% inferiores aos níveis de 1990, até ao ano de 2012 (Malhotra, [1998]).

O material de construção mais utilizado em todo Mundo é o betão. Actualmente, o consumo médio de betão é cerca de uma tonelada por ano, por cada ser humano, não se consumindo mais nenhum material em tão elevada quantidade, excepto a água. Devido ao seu grande consumo, mesmo uma

pequena redução de GHG por tonelada de betão produzida, pode ter um impacto global significativo (Flower ; Sanjayan, 2007).

Os constituintes básicos do betão são o cimento, água, agregados grossos e agregados finos. Entre estes, o maior contribuinte para as emissões dos gases de estufa é o cimento Portland (Flower ; Sanjayan, 2007).

De facto, a produção de uma tonelada de cimento Portland liberta para a atmosfera aproximadamente uma tonelada de CO₂, e requer de 1.55 a 1.60 toneladas de matérias-primas, principalmente calcário e argila de boa qualidade (Malhotra, [1998]). No fabrico de clínquer de cimento Portland, as fontes de emissão de CO₂ ocorrem principalmente nos processos de calcinação do calcário ($\pm 50-55\%$) e de queima de combustíveis ($\pm 40-50\%$) (Malhotra, [1998]).

Depois do alumínio e do aço, o fabrico de cimento Portland é o processo que consome mais energia, requerendo por cada tonelada de produto final, cerca de 4 GJ (Malhotra, [1998]).

1.2. UTILIDADE DAS ADIÇÕES

Actualmente, a indústria cimenteira procura responder rapidamente à exigência da Sociedade em reduzir as emissões de CO₂, pela utilização crescente de ligantes de cimento Portland com o uso de adições, isto é, substitutos parciais do cimento, sobretudo os provenientes de subprodutos industriais (Gartner, 2004), que de outro modo seriam inúteis e provavelmente depositados em aterros.

Se 15% do cimento utilizado mundialmente for substituído por adições, as emissões de CO₂ serão reduzidas em 227 milhões de toneladas/ano e fazendo-se uma substituição de 50%, a redução seria de 750 milhões de toneladas/ano, sendo o equivalente a remover ¼ de todos os automóveis do Mundo (Malhotra, [1998]).

De facto, o betão, que é produzido com matérias-primas prontamente disponíveis, sendo fácil de utilizar e apresentando uma resistência e durabilidade razoáveis, é indispensável para satisfazer as necessidades da sociedade moderna em termos de infra-estruturas industriais e de habitação. O rápido crescimento dos países em desenvolvimento económico como a China ou Índia, só pode ser sustentado se estiver disponível um material de construção económico com um baixo impacto ambiental (Darntoft, et al., 2008). Como em 2007 a procura de cimento nestes países aumentou cerca de 55% em relação aos valores da década de 90, e estima-se que aumente a partir desses níveis entre 115-180%, com uma possível quadruplicação até 2050, é essencial que as emissões de CO₂ associadas a este crescimento sejam conciliadas com os esforços internacionais para reduzir os efeitos dos GHG (Darntoft, et al., 2008).

Uma estrutura de betão sustentável é construída de modo a assegurar que o impacto ambiental total durante o seu tempo de vida seja mínimo. O betão sustentável deverá: requisitar muito pouca energia, ser produzido com formação de poucos resíduos, utilizar recursos que existam em quantidades abundantes na Terra, ter uma massa térmica muito elevada, ser produzido com materiais reciclados e produzir estruturas duráveis (Naik, 2005).

O betão sustentável será então produzido à base de cimento Portland, adições pozolânicas/cimentícias siliciosas e adjuvantes que providenciam uma rede porosa refinada e impermeabilidade singular, que asseguram a integridade a longo prazo da construção em betão armado ou pré-esforçado. De facto, a acção sinérgica entre os constituintes deste tipo de betão, conduz a uma baixíssima permeabilidade e porosidade, e ainda a uma elevada resistência aos ataques químicos. As adições ao hidratar, consomem hidróxido de cálcio diminuindo o risco de formação de etringite (resultante da combinação

de sulfato com a alumina do cimento ou do agregado, na presença de hidróxido de cálcio e água), assim como o risco de ataque dos álcalis à sílica reactiva do agregado.

O uso correcto de adições tem portanto vantagens em termos económicos e técnicos, e com melhores propriedades do betão fresco e endurecido tais como:

- * Melhoria da trabalhabilidade;
- * Facilidade de bombagem;
- * Redução de segregação;
- * Redução da exsudação;
- * Redução da retracção plástica;
- * Redução da fissuração térmica por controlo do calor de hidratação;
- * Significativa redução da permeabilidade.

Além destas vantagens, a substituição parcial do cimento Portland por adições acarreta um menor gasto de energia uma vez que a sua preparação consome muito menos (ou nenhuma, no caso de um subproduto) do que a energia consumida no fabrico do cimento Portland. Assim sendo, uma criteriosa escolha destes materiais torna-se imprescindível (Coutinho, 2006, Sousa, et al., 2004).

Este “betão sustentável ou ecológico”, de baixo impacto ambiental, é obtido através da selecção do tipo de cimento, do tipo e dosagem de adições, e deverá também apresentar qualidade adequada à aplicação em questão (Darntoft, et al., 2008), e portanto, de acordo com o tipo de obra a realizar.

A indústria do betão deve então, ter cada vez mais em consideração, a reciclagem de subprodutos industriais, de um modo seguro e económico (Naik, 2005), sobretudo no que diz respeito às adições.

As adições pozolânicas conduzem a mudanças importantes no betão fresco e endurecido. As adições mais utilizadas actualmente, já consideradas na regulamentação, são a sílica de fumo, cinzas volantes, e escórias de alto forno. Entre estas evidencia-se a sílica de fumo, pois é a que mais se destaca relativamente aos seus efeitos benéficos nas estruturas de betão. Mais recentemente tem-se considerado a cinza de casca de arroz e o metacaulino (Giaccio, et al., 2007).

A sílica de fumo é um subproduto industrial, que provem da redução de quartzo de alta pureza com carvão em fornos de arco eléctrico, na produção de ligas de silício e de ferro-silício e é constituída por partículas esféricas muito finas, contendo pelo menos 85% em massa de dióxido de silício amorfo, e pequenas quantidades de óxidos de alumínio, ferro, cálcio, magnésio, etc., em percentagens normalmente inferiores a 1%. (Coutinho, 2006).

Devido à elevada superfície específica e ao teor em SiO_2 muito elevado, as reacções pozolânicas são aceleradas nos primeiros dias. Como as partículas de sílica de fumo são microscópicas, vão produzir um efeito de filler na pasta de cimento, que provoca um refinamento da rede porosa. Esta característica irá ter implicações práticas importantes em betão com sílica de fumo, tais como, uma menor permeabilidade e consequentemente, maior durabilidade, devido ao aumento da resistência do betão aos agentes agressivos (Coutinho, 2006).

No betão fresco, regra geral, a introdução de sílica de fumo diminui a exsudação e a tendência para o betão segregar, embora faça aumentar a dosagem de água para manter a trabalhabilidade constante. No entanto, usando plastificantes ou superplastificantes, a quantidade de água de amassadura é pouco afectada pela introdução da sílica de fumo. A diminuição da exsudação pode aumentar o risco de o betão fissurar antes da presa, se não se mantiverem as superfícies húmidas (Coutinho, 2006).

No betão endurecido podem conseguir-se aumentos na resistência à compressão com percentagens de substituição adequadas, não se observando redução das tensões de rotura nas primeiras idades, como

sucedem com as cinzas volantes (Coutinho, 2007). Em termos regulamentares, a percentagem de substituição do cimento por sílica de fumo, é de 11%, segundo a NP EN 197-1 (Instituto Português da Qualidade, 2006).

Estas características levam a que uma das aplicações mais interessantes da sílica de fumo seja no fabrico de betão de alto desempenho (Coutinho, 2007), sendo muitas vezes designada por superpozolana, e tendo como única desvantagem o seu custo, pois é bastante onerosa, o que leva a que se procurem novas alternativas mais económicas, com propriedades equivalentes.

1.3. CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Nos últimos anos, vários estudos têm sido realizados no sentido de valorizar o resíduo “casca de arroz”, sabendo-se que esta, quando correctamente incinerada, se torna numa cinza com características de uma superpozolana, devido à sua elevada superfície específica comparável com outras pozolanas utilizadas na indústria cimenteira, mais precisamente com a sílica de fumo, podendo assim ser utilizada com sucesso nesta indústria (Bouzoubaâ ; Fournier, 2001).



Fig.1 – Planta do arroz.

Um dos pioneiros neste estudo foi Mehta, tendo em 1973 publicado o primeiro de diversos artigos, descrevendo o efeito do processo de queima na reactividade pozolânica da RHA (Rice Husk Ash). Baseado nesta pesquisa, Pitt projectou um forno de leito fluidizado, de modo a controlar a queima da casca de arroz. De facto, ao realizar a queima da casca de arroz a uma temperatura e atmosfera controladas obteve-se uma RHA bastante reactiva (Bouzoubaâ ; Fournier, 2001). Este artigo foi de grande importância pois até 1970, a cinza de casca de arroz era habitualmente produzida através de uma queima descontrolada, e a cinza obtida por este processo era geralmente cristalina e com propriedades pozolânicas muito pobres (Bouzoubaâ ; Fournier, 2001).

A possibilidade de utilizar cinza de casca de arroz como uma adição pozolânica, atraiu mais a atenção dos investigadores do que qualquer outro subproduto agrícola, explicando-se este facto essencialmente por três motivos:

→ Devido à grande abundância deste material, no ano 2000, mais de 100 milhões de toneladas de casca/ano eram obtidas de uma produção anual superior a 500 milhões de toneladas de arroz, como podemos ver na Tabela 1 (*International Rice Research Institute*). É uma enorme quantidade de resíduo que, de acordo com Mehta, apenas pode ser consumida no cimento e nas indústrias cimenteiras, que utilizam subprodutos a esta escala.

Tabela 1 – Produção anual de arroz e da sua casca, no ano 2000 (milhões de toneladas) (*International Rice Research Institute*).

PAÍS	ARROZ	CASCA ARROZ
China	190,2	38,0
Índia	134,1	26,8
Indonésia	51	10,2
Bangladesh	35,8	7,2
Vietname	32,6	6,5
Tailândia	23,4	4,7
Myanmar	20	4,0
Filipinas	12,4	2,5
Japão	11,9	2,38
Brasil	11,2	2,2
Outros	70,4	14,1
TOTAL	593	118,6

- A casca de arroz não é um alimento adequado para os animais devido às suas propriedades nutricionais pobres. A sua superfície irregular e abrasiva é resistente à degradação natural, o que causa problemas sérios de acumulação em aterro. Quando a casca é incinerada, produz uma grande quantidade de cinza, em média cerca de 200 kg de RHA por cada tonelada de casca de arroz. De facto, nenhum outro subproduto agrícola gera uma quantidade de cinza tão elevada após a sua queima.
- O uso da RHA como adição pozolânica é de grande interesse para muitos países em desenvolvimento onde o cimento é escasso (e portanto caro), mas a produção de arroz é abundante (*International Rice Research Institute*). Deve-se evidenciar que, cada tonelada de arroz produzida corresponde a aproximadamente a 200 kg de casca, e portanto, 40 kg de cinza. Cook estimou que cerca de um terço da casca disponível pode ser, de uma forma economicamente viável, transportada para incineração em locais apropriados e transformada em cinza (Hwang ; Chandra, 1997).

1.3.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CASCA

A casca de arroz, como referido, apresenta: valor nutritivo reduzido, superfície irregular abrasiva, teor em sílica elevado, e também baridade baixa ($90\text{-}150\text{ kg/m}^3$) (Mehta, 1992). Apenas um volume reduzido da casca produzida pela orizicultura é aproveitado, o que cria problemas consideráveis a nível de depósito em aterro (Sousa, 2005).

A composição da casca de arroz, em massa, é aproximadamente 42% de carbono, 5% de hidrogénio, 32% de oxigénio e 20% de cinza (Joseph, et al., 1989), e a sua composição química é cerca de 40% de celulose, 30% de lenhina e 20% de sílica (Chindaprasirt, et al., 2007).

Estudos realizados na Universidade da Califórnia em Berkeley, indicam que a sílica presente no solo migra para o interior da planta do arroz, sob a forma de um ácido monosilícico, que se concentra na planta por evaporação. Estudos de microscopia electrónica mostraram que a sílica se encontra dispersa na estrutura celular da casca (Ismail ; Waliuddin, 1996).

A lenhina e a celulose presentes na composição da casca de arroz podem ser removidas por combustão controlada (oxidação), permanecendo a sílica microporosa na estrutura celular original da casca (Hwang ; Chandra, 1997), sendo a sílica obtida amorfa, reactiva e adequada para o uso como material pozolânico, de modo a substituir parcialmente o cimento Portland (Chindaprasirt, et al., 2007).

1.3.2. PROCESSOS DE INCINERAÇÃO

Inicialmente, a casca de arroz era convertida em cinza, através de um método de queima do material depositado em pilha, a céu aberto, atingindo uma gama de temperaturas que iam desde os 300 aos 450°C (Ganesan, et al., 2008). A queima tradicional a céu aberto pode criar poluição atmosférica, que se suspeita ser a causa de doenças oftalmológicas e pulmonares, assim como de danos na vida vegetativa (Mehta, 1992).

Quando a casca é convertida em cinza por queima descontrolada com temperaturas inferiores a 500°C, a combustão não é completa, e uma quantidade considerável de carbono por queimar permanece na cinza resultante. Quando o conteúdo em carbono excede 30%, é esperado que tenha um efeito adverso sobre a actividade pozolânica da RHA (Ganesan, et al., 2008).

Em vários estudos, na cinza produzida por queima controlada da casca de arroz, com temperaturas de incineração entre os 550°C e os 700°C durante uma hora, a maior parte do carbono é removido por oxidação, obtendo-se uma sílica amorfa, quase idêntica à de sílica de fumo, sendo a reactividade desta, directamente proporcional à superfície específica da cinza (Ganesan, et al., 2007, Ganesan, et al., 2008, Hwang ; Chandra, 1997, Sousa, 2005). Pensa-se também que o arrefecimento rápido da cinza pode aumentar a reactividade (Mehta, 1992).

Metha observou que abaixo dos 700°C, a sílica formada é amorfa, de natureza pozolânica, mas acima daquele valor, a sílica muda parcialmente para cristobalite, quartzo, e tridimite, tornando-se cristalina, requerendo posteriormente uma moagem muito fina para exibir pozolanicidade, para além de ser considerada perigosa para a saúde humana (Bouzoubaâ ; Fournier, 2001, Chindaprasirt, et al., 2007, Hwang ; Chandra, 1997, Ismail ; Waliuddin, 1996).

Foram também produzidas cinzas com características semelhantes às ideais, a temperaturas na ordem de 700-800°C, mas o tempo de exposição a estas temperaturas elevadas foi limitado a menos de um minuto (Hwang ; Chandra, 1997), não sendo aconselhável queimar a casca de arroz acima de 800°C durante muito tempo para obter reactividade pozolânica apropriada (Mehta, 1992). De facto, um tempo de combustão longo vai causar o colapso da estrutura celular, e também a junção dos poros

finos, o que provoca, consequentemente, a redução da superfície específica. A temperaturas ainda mais elevadas, com tempos longos de queima, a estrutura da RHA passa a ser cristalina (Mehta, 1992), aliás, como comprovado pela análise térmica apresentada na Fig.2 (Sousa, 2005), onde se observa que a partir de cerca de 850°C, verifica-se mudança de estado, neste caso, para o cristalino.

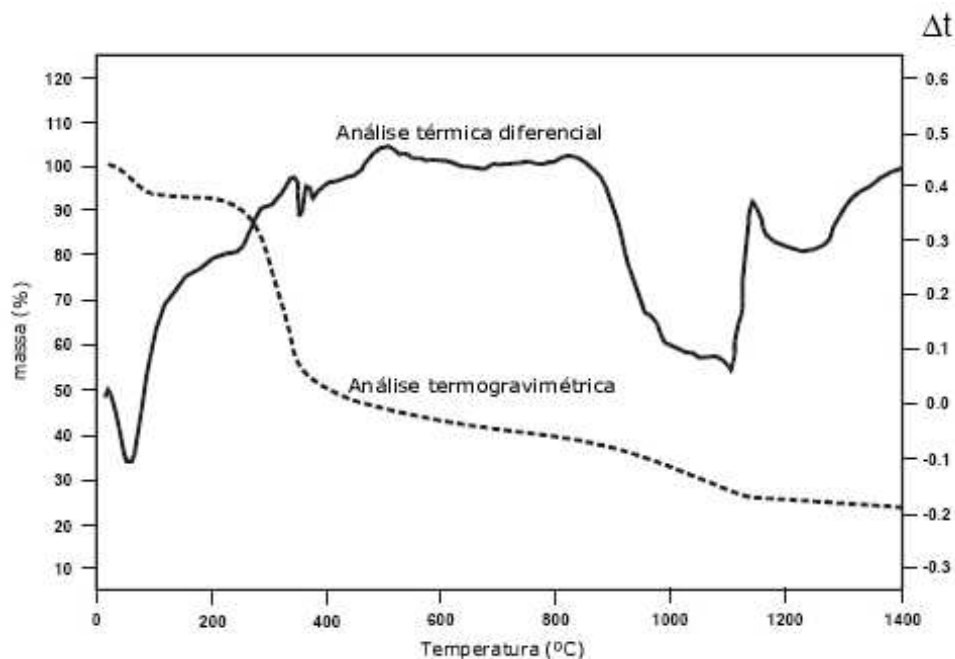


Fig.2 – Análise termogravimétrica para casca de arroz (Sousa, 2005).

É essencial conseguir as condições ótimas de incineração, como podemos observar na Fig.3, para a obtenção de uma cinza de casca de arroz com pouco carbono, com a sílica num estado não cristalino, e uma estrutura altamente microporosa e celular (Fig.4), pois a actividade química depende quer da superfície específica quer do grau de não cristalinidade (Mehta, 1992, Sousa, 2005).

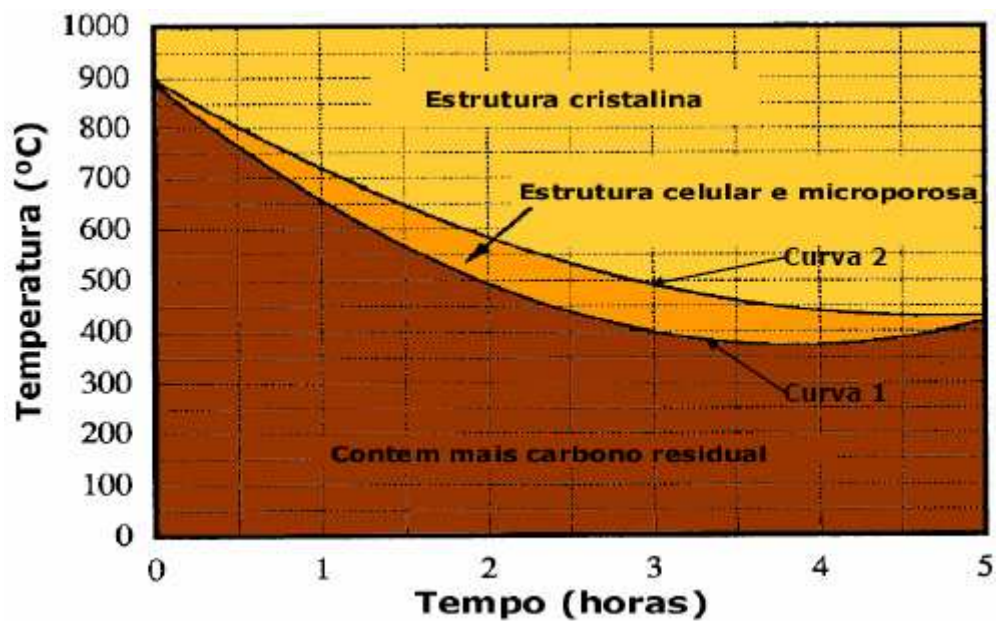


Fig.3 – Curva de condições ótimas de incineração para obtenção de RHA reactiva (a curva 1 separa a zona superior de cinzas com menor teor de carbono da zona inferior com mais carbono inqueimado; a curva 2 separa a zona inferior de cinzas com estrutura celular e amorfa da zona superior de cinzas com estrutura cristalina) (Sousa, 2005).

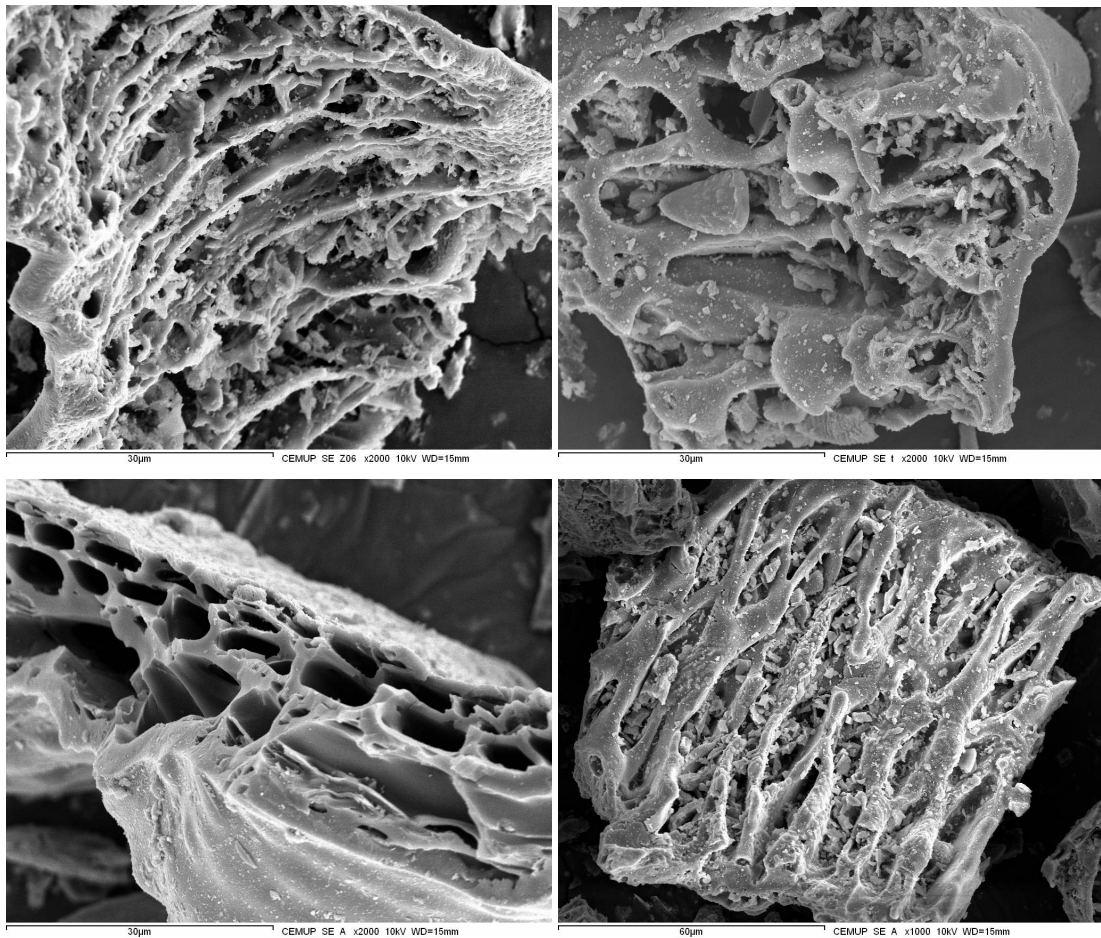


Fig.4 – Estrutura celular de RHA, utilizada no trabalho presente, vista no MEV (Microscópio Electrónico de Varrimento).

Como já referido, os métodos de incineração da casca de arroz têm evoluído, tendo-se vindo a melhorar cada vez mais o modo de combustão, para que os resultados obtidos sejam progressivamente mais adequados à finalidade em questão. Esta evolução dos processos de combustão pode ser acompanhada na Tabela 2 [adaptado de (Mehta, 1992)].

Tabela 2 – Condições de incineração, composições químicas e características da RHA (Mehta, 1992), e características da sílica de fumo (Coutinho, 2006, Instituto Português da Qualidade, 2007).

Autor (ano)	Método de Queima	Condições de Incineração		Composição Química (%)			Material Cristalino	Características Específicas	Área de Superfície Específica (m2/g)	Passados em 75µm	Índice de Atividade (%)	Substituição em % de cimento	Tipo de Argamassa			
		Temperatura (°C)	Tempo (hr)	SiO ₂	K ₂ O	carbono inqueimado							A/C	Resistência (Mpa)		
														28d	90d	
-	céu aberto	descontrolada	-	88	5		cristobalite, tridimita	cor negra, reactividade baixa								
Metha (1976-1979)	forno de leito fluidizado	700-800°C	-	80 - 95	1 - 2	3 - 18	amorfo (altamente celular)		50 - 60							
Cook (1976-1981)	queima controlada	450°C	4	93	2.3	3				32		10 20	0.49 0.53	41 34	46 47	
Kanpur (1974-1976)	queima automática	600-700°C	2				cristalino, amorfo		60			20	0.42-0.47	44 - 60	-	
Yamamoto (1982)		400°C, arrefecida rapidamente	4						-		100 - 140	20 - 70		28 - 40		
Yousif (1984)		500°C	2			3.3			0.5 - 2.1		110					
James and Rao (1986)		700°C	1 - 12			3			100-150 a baixa temperatura							
Boatend and Skeete (1990)		600-700°C	3-9			3 - 7					100		0.6			
Hwang and Wu (1989)		700°C	4	92	4			amorfo (altamente celular)	poro médio 590x10-6dm³, baridade 0.14-0.29 g/cm³, densidade 2.22 g/cm³				5 - 30	0.35-0.50	17 - 57	31 - 68
Metha (1989)					91	2.1	5			24	25					
Típico	queima industrializada			90 - 95	1 - 3		amorfo e em forma altamente celular	baridade 0.2 g/cm³	50 - 100							

Tabela 2 – Tabela 2 – Condições de incineração, composições químicas e características da RHA (Mehta, 1992), e características da sílica de fumo (Coutinho, 2006, Instituto Português da Qualidade, 2007)(cont.).

Autor (ano)	Método de Queima	Condições de Incineração		Composição Química (%)			Material Cristalino	Características Específicas	Área de Superfície Específica (m ² /g)	Passados em 75µm	Índice de Actividade	Substituição em % de cimento	Tipo de Argamassa		
		Temperatura (°C)	Tempo (hr)	SiO ₂	K ₂ O	carbono inqueimado							A/C	Resistência (Mpa)	
														28d	90d
Sílica de fumo	forno eléctrico de arco			80-90				diâmetro entre 0,01 e 0.5 mm; massa volúmica entre 2,2 e 3,0 g/cm3	15-35 (NP EN 13263-1)		≥ 100 % (aos 28 dias)	2 - 10			

No processo de queima a céu aberto haverá zonas onde a temperatura atingida é muito elevada, provocando cristalinidade, e noutras onde é baixa, sendo a RHA nesses locais amorfa. Assim, RHA produzida por este método não terá uma estrutura homogénea.

Posteriormente, foi desenvolvido o forno de leito fluidizado, tendo sido projectado para uma incineração controlada da casca de arroz, produzindo-se uma cinza com elevada pozolanicidade, e aproveitando-se durante o processo, o calor da combustão para aquecer uma caldeira com consequente produção de energia eléctrica (Mehta, 1992).

Por razões de ordem económica e ambiental, Mehta passou a utilizar um forno industrial moderno, com controlo de combustão, que permite de uma forma simples, não só recuperar energia potencial, como também, obter RHA amorfa de estrutura celular, altamente pozolânica (Hwang ; Chandra, 1997, Mehta, 1992). Após a incineração da casca, a temperatura e período de queima apropriados neste tipo de forno, o resultado é uma composição química com valores na ordem de 90-95% de SiO_2 , 1-3% de K_2O , e inferior a 5% de carbono por queimar, como apresentado na Tabela 2. A qualidade da cinza de diferentes fontes, após uma correcta combustão, apenas varia ligeiramente. A reactividade pozolânica é dependente, como já referido, da superfície específica da RHA, que nestas condições atinge os valores de 50-100 m^2/g (Mehta, 1992).

As propriedades da cinza de casca de arroz dependem assim do tempo e temperatura de incineração, tempo de arrefecimento e condições de moagem (Ganesan, et al., 2007).

1.3.3. PROCESSOS DE MOAGEM

Como a RHA é um material poroso e relativamente pouco duro, a sua moagem é mais económica comparando com a moagem de cimento Portland (Bui, et al., 2005). De qualquer modo, não é necessário obter uma RHA muito fina, pois com partículas de dimensões entre 10-75 μm , esta apresenta um comportamento pozolânico satisfatório (Hwang ; Chandra, 1997). De facto, moer demasiado a RHA deve ser evitado, uma vez que a sua pozolanicidade deriva sobretudo da superfície interna das partículas (Bui, et al., 2005), isto é, da sua textura celular.

Existem diversos processos de moagem, podendo ser usados os mesmos do processo de moagem do clínquer. O mais usado em termos de investigação consiste em utilizar um tambor rotativo, onde são colocadas esferas metálicas de massas definidas (Sousa, 2005).

1.3.4. CARACTERIZAÇÃO DA RHA

Assim, a RHA a utilizar como substituto parcial do cimento Portland, deve resultar da incineração controlada de casca de arroz, obtendo-se quase sílica pura (podendo conter até 95% de sílica), amorfa, e com grande superfície específica devido à sua estrutura celular enrugada, sendo um material altamente reactivo (Sousa, 2005).

Os efeitos do uso da RHA no betão são semelhantes aos da sílica de fumo. No entanto, partículas da cinza de casca de arroz são diferentes das de sílica de fumo pois apresentam uma estrutura celular, responsável pela elevada superfície específica, e as partículas não são de tamanho muito reduzido (Coutinho, 2006), ao contrário das de sílica de fumo que são esféricas e muito pequenas (cerca de 100 vezes inferiores às do cimento).

1.3.5. PROPRIEDADES DA RHA

A presença da RHA no betão com cimento Portland, cujas impurezas não causam, em princípio, nenhum efeito adverso nas suas propriedades, aumenta a sua durabilidade por redução da permeabilidade. Este facto é extremamente importante em muitas aplicações, tais como, canais de irrigação, pavimentos resistentes à abrasão entre outros, e sobretudo, em estruturas de betão armado e pré-esforçado sujeitas a ambientes muito agressivos (por exemplo: com cloretos ou sulfatos) (Hwang ; Chandra, 1997, Sousa, 2005).

A melhoria da trabalhabilidade está entre os benefícios técnicos associados ao uso de adições no betão com cimento Portland. Normalmente, esses benefícios só são alcançáveis quando está presente no betão uma quantidade mínima desses materiais. O conteúdo máximo está limitado, devido aos níveis inaceitáveis de retardamento do tempo de presa e de resistências nas idades iniciais (Mehta, 1994), ou, de acordo com a adição, à regulamentação em vigor, notando-se que a RHA ainda não é considerada nesta.

A substituição parcial do cimento Portland por RHA, origina um incremento da necessidade de água (devido ao carácter de adsorção da partículas celulares da RHA) e um reforço da coesão do betão. Este efeito pode ser compensado pelo uso de um superplastificante, sendo ainda mais pronunciado em misturas de RHA com cimentos de finura mais elevada (Bui ; Stroeven, , Mehta, 1994). No entanto, mesmo misturas comuns de betão sem plastificantes podem beneficiar imenso do uso de pequenas percentagens de RHA (Mehta, 1994).

Para uma determinada razão água/cimento, pequenas percentagens de RHA, podem ser úteis para melhorar a estabilidade e trabalhabilidade do betão, reduzindo a tendência para exsudações e segregação, devido principalmente à sua elevada superfície específica (Mehta, 1992). Uma razão água/cimento elevada deve ser evitada, pois esta tende a aumentar o tempo de presa (Mehta, 1992) e a piorar a qualidade do betão.

A incorporação da RHA com uma substituição até 30%, reduz o nível de penetração de cloretos, diminui a permeabilidade, melhora a resistência mecânica e as propriedades de resistência à corrosão, o que tem um efeito directo na durabilidade das construções de betão armado, levando a um aumento do tempo de vida útil para a qual foi projectada. Mehta concluiu que a substituição de RHA recomendada é até 25% (Ganesan, et al., 2008, Mehta, 1994), e que até mesmo com pequenas quantidades, na ordem dos 5 a 15% em massa da adição, pode resultar numa melhoria considerável da trabalhabilidade e durabilidade, sem qualquer efeito adverso no tempo de presa e resistências em idades muito jovens (Mehta, 1994).

Coutinho e Giaccio *et al*, referem que o betão com uma substituição parcial do cimento com 10, 15 e 20% de RHA, tem um comportamento excelente, quando comparado com o betão de controlo (betão com 100% de cimento Portland) (Giaccio, et al., 2007, Sampaio, et al., 2000).

De acordo com Coutinho, a substituição de 15 e 20% do cimento por RHA melhora o comportamento do betão, em comparação com o betão de controlo e a sílica de fumo, excepto nos valores do coeficiente de absorção (Coutinho, 2003). O betão com cinza de casca de arroz pode apresentar melhor desempenho do que o com sílica de fumo, nas resistências mecânicas e de resistência aos cloretos (Sampaio, et al., 2000).

Segundo Hwang e Chandra, a resistência à acção gelo-degelo em ambientes salinos também foi testada, tendo o betão apresentado um bom comportamento; os ligantes com uma mistura de 10% de RHA têm sido bastantes eficazes no combate à expansão devida às reacções álcali-agregado; a permeabilidade do betão pode ser significativamente reduzida através do preenchimento de poros e da

reação pozolânica da RHA, devido à sua elevada superfície específica e estrutura celular, o que irá consequentemente melhorar outras características de durabilidade; ensaios de envelhecimento por imersão, durante um período de 8 meses, em soluções de 1% de ácido hidrocloreídrico, ácido acético, e ácido láctico demonstraram que as argamassas de cimento Portland apresentaram amolecimento e desintegração, enquanto que as argamassas com RHA e cimento Portland mantiveram a sua superfície original dura e arestas afiadas, além de apresentarem uma menor perda de peso, o que indica uma resistência superior ao ataque pelos ácidos, observando-se portanto, excelentes resultados em ambientes ácidos; o uso da RHA tem bastante importância nas áreas que necessitam de resistir à água e boa durabilidade, como em ambientes marinhos; o uso da RHA para substituir parcialmente o cimento reduz o calor de hidratação, tendo a sua curva de evolução uma forma similar à da pasta de cimento sem RHA; e as características nas idades muito jovens do betão com RHA dependem de diversos factores, tais como, da razão água/cimento, da quantidade de pasta de cimento utilizada e de RHA acrescentada (Mehta, 1992).

De acordo com Hwang, Chandra e Gastaldini *et al*, a RHA ajuda a reduzir a quantidade de cal livre, devido à formação de silicato de cálcio e aluminato de cálcio hidratado, e reduz também o abastecimento de álcalis do cimento, competindo com a reacção lenta do agregado e consumindo os álcalis do cimento devido à sua grande reactividade. Além disso, adsorve a água envolvente e refina a estrutura porosa (Gastaldini, et al., 2007, Mehta, 1992).

Sousa refere que devido ao baixo coeficiente de transmissão térmica que a RHA possui esta pode também ser utilizada em isolante térmico (Sousa, 2005).

1.3.1.1. Resistências mecânicas

Aparentemente, a incorporação de RHA nos betões e também nas argamassas, aumenta a resistência, particularmente para razões água/cimento baixas, não ocorrendo mudanças significativas no módulo de elasticidade e no coeficiente de Poisson (Azevedo, et al., , Bui, et al., 2005, Bui ; Stroeven, , Giaccio, et al., 2007).

Segundo Coutinho e Nehdi *et al*, a utilização de RHA como substituto parcial do cimento, conduz a uma maior resistência à compressão do que em betão equivalente com apenas cimento Portland, e até relativamente a betões com uma substituição de 10% por sílica de fumo (Coutinho, 2003, Nehdi, et al., 2003).

Esta adição no cimento Portland, não só melhora a resistência inicial do betão, como leva à formação de um gel de silicato de cálcio hidratado (CSH) em torno das partículas de cimento, que sendo muito denso e pouco poroso, pode reduzir a fissuração (Saraswathy ; Song, 2007). No entanto, de acordo com Giaccio *et al*, a análise do mecanismo de rotura em compressão indica que os valores para os quais se inicia e propaga a fissuração são mais elevados nos betões com RHA, havendo assim uma maior tendência para mecanismos de rotura frágeis (Giaccio, et al., 2007).

Saraswathy e Song, demonstraram em ensaios, que pode ser feita uma substituição de RHA até 40% sem mudanças significativas na resistência à compressão quando comparada com o betão equivalente apenas com cimento Portland (Saraswathy ; Song, 2007), apesar de ser desaconselhado pelas razões anteriormente referidas.

Com a excepção da sílica de fumo, a RHA é o único material pozolânico com a capacidade de aumentar a resistência inicial de betão com cimento Portland às idades de 1 e 3 dias (Bui ; Stroeven, , Hwang ; Chandra, 1997, Mehta, 1992).

1.3.1.2. Resistência aos cloretos

No que diz respeito à resistência de penetração dos cloretos, o desempenho do betão com uma substituição parcial do cimento por RHA (10% ou 15%) melhora significativamente quando comparado com o betão de controlo, sendo por vezes até ligeiramente mais eficaz do que o betão com cimento parcialmente substituído por sílica de fumo (Chindaprasirt ; Rukzon, 2008 , Coutinho, 2003, Mehta, 1994). Outra vantagem associada, é a redução do tempo de iniciação da corrosão induzida por cloretos, sendo esta em muitos casos, a característica mais importante no que diz respeito à prevenção da corrosão e à durabilidade (Chindaprasirt ; Rukzon, 2008).

Este aumento da durabilidade do betão deve-se principalmente à redução da permeabilidade/difusibilidade do betão, em particular, do transporte de iões cloreto (Chindaprasirt ; Rukzon, 2008).

1.3.1.3. Resistência à carbonatação

A resistência à carbonatação é, em geral, aumentada consideravelmente devido à adição de RHA. Este facto ocorre pois, por um lado, as reacções pozolânicas e cimentícias associadas à cinza de casca de arroz, reduzem o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, disponível para reagir com o dióxido de carbono que consegue penetrar na camada superficial do betão, mas pelo outro lado, a cinza de casca de arroz diminui a permeabilidade do sistema refinando os poros, fazendo com que o dióxido de carbono tenha dificuldade a penetrar no betão. Deste equilíbrio de reacções resulta, em geral, uma resistência global à carbonatação superior à do betão equivalente apenas com cimento Portland (Mehta, 1992).

1.3.1.4. Resistência aos sulfatos

Betões com a incorporação de RHA têm valores de pH baixos, sendo naturalmente, menos susceptíveis ao ataque pelos sulfatos (Chindaprasirt, et al., 2007).

Além desta característica, a RHA faz aumentar a resistência do betão aos sulfatos do betão. A zona de transição sofre uma densificação e fortalecimento, o que aumenta a resistência do betão à microfissuração. Devido a estas modificações, a penetração da solução de sulfatos é atenuada, e consequentemente, a resistência aos sulfatos melhorada (Mehta, 1992).

1.3.1.5. Absorção de água por capilaridade

Considerando os ensaios de absorção por capilaridade, os valores do coeficiente de absorção para betões com uma percentagem de substituição de cimento por 10%, 15%, 20% e até 30% de RHA, são mais baixos do que para betão equivalente apenas com cimento Portland, assim como, para betões com uma substituição parcial por sílica de fumo (Coutinho, 2003, Ganesan, et al., 2008). A permeabilidade é reduzida significativamente após 28 dias de cura, devido à diminuição considerável do número e dimensão dos poros (Mehta, 1992).

1.3.1.6. Microestrutura da zona de transição

A RHA como é uma pozolana altamente reactiva, melhora a microestrutura da zona de transição da interface (ITZ – Interfacial Transition Zone) entre a pasta de cimento e os agregados, sendo esta no

betão de elevado desempenho, a zona mais frágil do material, o que modifica assim o seu mecanismo de rotura (Bui, et al., 2005, Giaccio, et al., 2007, Saraswathy ; Song, 2007). A redução da água de exsudação resulta numa ITZ mais forte entre a matéria sólida e a pasta de cimento, o que conduz a um betão mais impermeável e durável (Mehta, 1992).

1.3.6. IMPORTÂNCIA DA RHA

A RHA assume uma elevada importância na sociedade actual já que permite o desenvolvimento de materiais de baixo custo, a partir de resíduos ou de subprodutos agrícolas ou industriais, disponíveis localmente, após investigação das suas potencialidades. Assim sendo, contribui para a política do “resíduo zero”, já que utiliza subprodutos em vez de matérias-primas e reduz o consumo de recursos naturais e os depósitos destes subprodutos ou resíduos. De facto, estes depósitos para além de ocuparem espaço de armazenamento podem causar impacto ambiental poluindo a terra, o mar ou as águas envolventes (Sousa, 2005).

A RHA pode ser utilizada numa variedade de aplicações, tais como:

- * Betão “verde”
- * Betão de elevada resistência
- * Refractário
- * Cerâmico vidrado
- * Isolador
- * Cobertura de telhas
- * Impermeabilização de produtos químicos
- * Absorvente de derrames de petróleo
- * Pinturas especializadas
- * Retardadores de incêndio
- * Portador de pesticidas
- * Insecticidas e bio fertilizantes, etc. (*Rice Husk Ash*).

Na industrialização da RHA, os principais custos inerentes estarão relacionados principalmente com a metodologia de incineração e da respectiva moagem da RHA, na medida em que o custo da matéria-prima é irrelevante, pois a casca de arroz é um subproduto agrícola que acaba geralmente em aterros.

A produção de arroz em 2007, foi de aproximadamente 645 milhões de toneladas, sendo que pelo menos 114 países cultivam o arroz, e destes, mais de 50 têm uma produção anual igual ou superior a 100.000t. Este facto origina uma quantidade anual de sensivelmente 129 milhões de toneladas de casca de arroz, que após a sua correcta conversão em cinza rondará os 25,8 milhões de toneladas de RHA disponíveis para a utilização na indústria da construção, e que de outro modo poluiriam o meio ambiente (*International Rice Research Institute*).

Nos países de geração destes subprodutos, podem ser utilizadas tecnologias económicas para a produção de uma adição altamente, eficaz reduzindo assim o impacto ambiental provocado pela queima descontrolada da casca.

Potencialmente, tinha-se disponível em 2000 em Portugal cerca de 149 000t de arroz por ano (*International Rice Research Institute*), o que corresponde sensivelmente a 29 800t de casca de arroz para transformar em cerca 5960t de cinza com características pozolânicas. Evidentemente que será impossível aproveitar toda a casca, tendo Cook estimado, como já foi referido, que apenas cerca de um terço da casca disponível pode ser de uma forma economicamente viável, transportada para incineração em locais apropriados e transformada em cinza (Hwang ; Chandra, 1997), podendo assim

melhorar a durabilidade de aproximadamente 50 mil metros cúbicos de betão armado ou pré-esforçado, com uma taxa de substituição de 10% (estimativa de consumo de 40kg de RHA por m³ de betão).

Para finalizar, a RHA é um produto com grandes potencialidades no sector da construção, contribuindo para a sustentabilidade, colaborando para estruturas de betão armado ou esforçado mais duráveis. A RHA já foi utilizada com sucesso em aplicações, tais como, betão de cofragem de permeabilidade controlada e betão compactado com cilindros (Chindaprasirt, et al., 2007, Sousa, 2005), tendo demonstrado um efeito positivo nas propriedades do betão.

Em conclusão, o uso da RHA deve ser considerado, não só apenas por razões ambientais e económicas, mas também por segurança e durabilidade (Mehta, 1992).

No entanto, apesar do uso de materiais cimentícios já ser uma realidade há mais de 70 (Naik, 2005) anos, infelizmente não é ainda utilizado de forma corrente no dia-a-dia. Estudos como este estão a ser levados a cabo no sentido de se alterar o modo de como são vistos estes materiais, com vista a integrá-los no nosso quotidiano.

1.4. BIBLIOGRAFIA

Azevedo, A. A.; Martins, M.L.C.; Molin, D.C. Dal - *A study of penetration of chloride ions in rice-husk ash concrete*. [s.l.]: [s.n.],

Bouzoubaâ, N.; Fournier, B. - *Concrete Incorporating Rice-Husk Ash: Compressive Strength and Chloride-Ion Penetrability*. Ottawa, Canada: 2001.

Bui, D. D.; Hu, J.; Stroeven, P. - Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. *Cement & Concrete Composites*. 27:3 (2005). p. 357-366.

Bui, D.D.; Stroeven, P. - *Gap-graded concrete blended with rice husk ash and fly ash*. [s.l.]: [s.n.],

Chindaprasirt, P., et al. - Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*. 21:6 (2007). p. 1356-1361.

Chindaprasirt, P.; Rukzon, S. - Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar *Construction and Building Materials* 22:8 (2008). p. 1601.

Coutinho, J. S. - The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures. *Cement & Concrete Composites*. 25:1 (2003). p. 51-59.

Coutinho, J. Sousa - *CINZA DE CASCA DE ARROZ (RHA) INDUSTRIAL - ENSAIOS*. Porto: FEUP, 2007.

Coutinho, Joana de Sousa - *1ª PARTE – LIGANTES E CALDAS 2002*. Porto: FEUP, 2006.

Darntoft, J. S., et al. - Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and Concrete Research*. 38:2 (2008). p. 115-127.

Flower, D. J. M.; Sanjayan, J. G. - Green house gas emissions due to concrete manufacture. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 12:5 (2007). p. 282-288.

Ganesan, K.; Rajagopal, K.; Thangavel, K. - Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*. 29:6 (2007). p. 515-524.

Ganesan, K.; Rajagopal, K.; Thangavel, K. - Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete *Construction and Building Materials* 22:8 (2008). p. 1675

Gartner, E. - Industrially interesting approaches to "low-CO₂" cements. *Cement and Concrete Research*. 34:9 (2004). p. 1489-1498.

Gastaldini, A. L. G., et al. - Chloride penetration and carbonation in concrete with rice husk ash and chemical activators. *Cement & Concrete Composites*. 29:3 (2007). p. 176-180.

Giaccio, G.; Rodriguez de Sensale, G.; Zerbino, R. - Failure mechanism of normal and high-strength concrete with rice-husk ash. *Cement & Concrete Composites*. 29:7 (2007). p. 566-574.

Hwang, Chau Lung; Chandra, Satish - *The use of rice husk ash in concrete*. [s.l.]: William Andrew Publishing/Noyes, 1997.

Instituto Português da Qualidade - *Cimento*
Np En 197-1:2001/A1:2005

Parte 1 Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes Partie 1 Composition, spécifications et critères de conformité de ciments courants Part 1 Composition, specifications and conformity criteria for common cements. Lisboa: IPQ, 2006.

Instituto Português da Qualidade - *Sílica de fumo para betão. Parte 1: Definições, requisitos e critérios de conformidade. NP EN 13263-1*. Caparica: IPQ, 2007.

International Rice Research Institute. - www.irri.org

Ismail, M. S.; Waliuddin, A. M. - Effect of rice husk ash on high strength concrete. *Construction and Building Materials*. 10:7 (1996). p. 521-526.

Joseph, S., et al. - *Production and utilization of rice husk ash - Preliminary investigations*. Trondheim, Norway: 1989.

Kluger, Jeffrey; Dorfman, Andrea - *The challenges we face*. 2002.

Malhotra, V. M. - *Role of Supplementary Cementing Materials in Reducing Greenhouse Gas Emissions into the Environment*. [s.l.]: [OP & J], [1998].

Mehta, P. K. - *Mineral admixtures for concrete – an overview of recent developments*. University of Newhampshire, Durham.: ASCE, 1994.

Mehta, P.K. - *Rice Husk Ash - A Unique Supplementary Cementing Material* Athens, Greece: 1992.

Naik, T.R. - *Sustainability of cement and concrete industries* Dundee, Scotland: [s.n.], 2005.

Nehdi, M. ; Duquette, J. ; El Damatty, A. - Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete *Cement & Concrete Research*. 33:(2003). p. 1203-1210.

Rice Husk Ash. - www.ricehuskash.com

Sampaio, Joaquim; Coutinho, J. Sousa; Sampaio, M. N. - *Portuguese Rice Husk Ash as a Partial Cement Replacement*. Porto: FEUP, 2000.

Saraswathy, V.; Song, H. W. - Corrosion performance of rice husk ash blended concrete. *Construction and Building Materials*. 21:8 (2007). p. 1779-1784.

Sousa, B. N. de; Silva, N. D. da; Coutinho, J. S. - *CINZA DE CASCA DE ARROZ PORTUGUESA – MATERIAL SUSTENTÁVEL*. Porto: FEUP, 2004.

Sousa, Susana Patrícia Bastos de - *Betão eco-eficiente com cinza de casca de arroz*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

2

ESTADO DA ARTE DO BETÃO LEVE

2.1. INTRODUÇÃO

O betão com agregados leves, também designado por betão leve, não é um conceito novo na tecnologia do betão. De facto, já é conhecido desde a antiguidade, remontando a sua origem a por volta de 3000 A.C., quando as famosas cidades de Mohenjo-Daro e Harappa foram construídas durante a civilização Indus Valley. Na Europa, os exemplos mais antigos remontam ao império romano, onde monumentos, tais como, o Panteão e o Coliseu em Roma, foram parcialmente construídos com materiais que podem ser designados por betões leves (agregados de lava, fragmentos de tijolo e pedra-pomes) (Chandra, et al., 2002, Coutinho, , Melo, 2000 , Silva, 2008).

2.2. TIPOS DE BETÃO LEVE

O betão leve distingue-se basicamente do betão normal pela massa volúmica. Assim sendo, as suas exigências funcionais, que proporcionam por exemplo, melhores desempenhos térmicos, são também substancialmente diferentes das dos betões normais. Ao betão normal é exigida resistência e trabalhabilidade, e ao betão leve além destas duas funções, também é exigida a leveza e isolamento térmico (Melo, 2000).

As vantagens do betão leve relativamente ao betão normal podem reduzir-se ao seguinte:

- ☞ *Redução do peso próprio* – introduz menor carga nas cofragens, podendo a estrutura alcançar fluatibilidade adicional em plataformas marítimas; as fundações não têm de ser dimensionadas para uma carga tão elevada, havendo poupanças consideráveis na estrutura;
- ☞ *Maior resistência térmica* – é vantajosa a sua aplicação em elementos onde o desempenho térmico é decisivo, visto que os agregados têm baixa condutibilidade térmica;
- ☞ *Acústica* – sob determinados aspectos a aplicação do betão leve conduz a absorção acústica melhorada;
- ☞ *Durabilidade* – Em betões convenientemente estudados a impermeabilidade é uma importante característica, contrariamente ao que pode parecer à primeira vista, e ocorre um acréscimo da resistência à corrosão das armaduras;
- ☞ *Aumento da resistência gelo/degelo*;
- ☞ *Poupanças económicas* – da utilização de um betão mais leve e menos abrasivo, podem resultar poupanças no transporte, emprego de guindastes, cofragens e colocação de betão (Chandra, et al., 2002, Lourenço, et al., 2004, Melo, 2000).

Como desvantagens destacam-se:

- ☞ *Aumento da dosagem de cimento para a obtenção da mesma resistência mecânica;*
- ☞ *Custos dos agregados leves habitualmente superiores aos normais;*
- ☞ *Menor rigidez relativa dos agregados leves face aos do betão normal* (Melo, 2000 , Silva, 2008).

A NP EN 206-1 classifica os betões leves como tendo massa volúmica (seca) inferior a 2000 kg/m³, sendo determinada seguindo a EN 12390-7. Na Tabela 3 apresenta-se a classificação dos betões segundo essa norma (Instituto Português da Qualidade, 2007).

Tabela 3 – Classificação dos betões segundo a NP EN 206-1 (Instituto Português da Qualidade, 2007).

Classificação do betão	Massa volúmica seca (kg/m³)
betão leve	< 2000
betão normal	2000 e 2600
betão pesado	> 2600

Dentro da categoria do betão leve, este pode ser classificado pela NP EN 206-1 em seis classes, consoante a sua massa volúmica, estando esta divisão representada na Tabela 4 (Instituto Português da Qualidade, 2007).

Tabela 4 – Classes de massa volúmica do betão leve (Instituto Português da Qualidade, 2007).

Classe de massa volúmica	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Massa volúmica (kg/m³)	≥ 800 e ≤ 1000	≥ 1000 e ≤ 1200	≥ 1200 e ≤ 1400	≥ 1400 e ≤ 1600	≥ 1600 e ≤ 1800	≥ 1800 e ≤ 2000

Em termos de mistura dos agregados, podem-se distinguir quatro tipos de betão leve:

- * ***Betão sem finos, ou de estrutura porosa*** – Este tipo de betão, “no fines concrete”, apresenta um volume de vazios elevado, igual ou superior a 25%. Na sua composição são utilizados agregados leves com uma ou duas granulometrias diferentes, e eventualmente, areia. A dosagem do ligante é a suficiente para revestir a superfície das partículas dos agregados de maior diâmetro (que se situam entre 10 e 20mm). A sua aplicação prática ocorre sobretudo na pré-fabricação ligeira, quando é necessária grande leveza e resistência térmica melhorada, em peças para drenos, como betão de enchimento, em enchimento de pisos, ou usados como isolantes térmicos;
- * ***Betão leve parcialmente compacto*** – Este betão caracteriza-se por ter uma percentagem de vazios inferior a 25%, sendo a matriz constituída por um ou dois agregados normais ou leves. A dosagem do ligante contribui decisivamente para a resistência mecânica do betão. São utilizados para variados fins, especialmente no fabrico de peças pré-fabricadas, como os blocos de alvenaria, painéis leves e outros produtos onde se pretende conciliar boas resistências térmicas com resistências mecânicas suficientes;

- * **Betão leve estrutural** – Este tipo de betão caracteriza-se por apresentar resistências à compressão elevadas. Tem grande vantagem económica a sua aplicação particularmente em estruturas de grande vão, sobretudo naquelas onde o peso próprio (no caso de utilização de betão normal) se sobrepõe às solicitações exteriores, sendo assim utilizados tanto na pré-fabricação leve como pesada na constituição da estrutura de edifícios ou pontes;
- * **Betão celular** – Este tipo de betão resulta da introdução de vazios estáveis na pasta de cimento ou argamassa. Estes vazios ou bolhas podem ser produzidos com gás ou ar. O betão celular é impropriamente designado por betão, pois geralmente não contém agregado grosso. Este betão é aplicado na indústria de pré-fabricação, na produção de blocos e de outros artefactos de betão (Coutinho, , Melo, 2000).

2.3. TIPOS DE AGREGADOS LEVES

Os agregados utilizados no betão são de quatro tipos:

- * Ultraleves;
- * Leves;
- * Normais;
- * Extradensos.

A classificação de cada um destes tipos quanto à baridade, segundo Coutinho (Coutinho, 1988), encontra-se na Tabela 5.

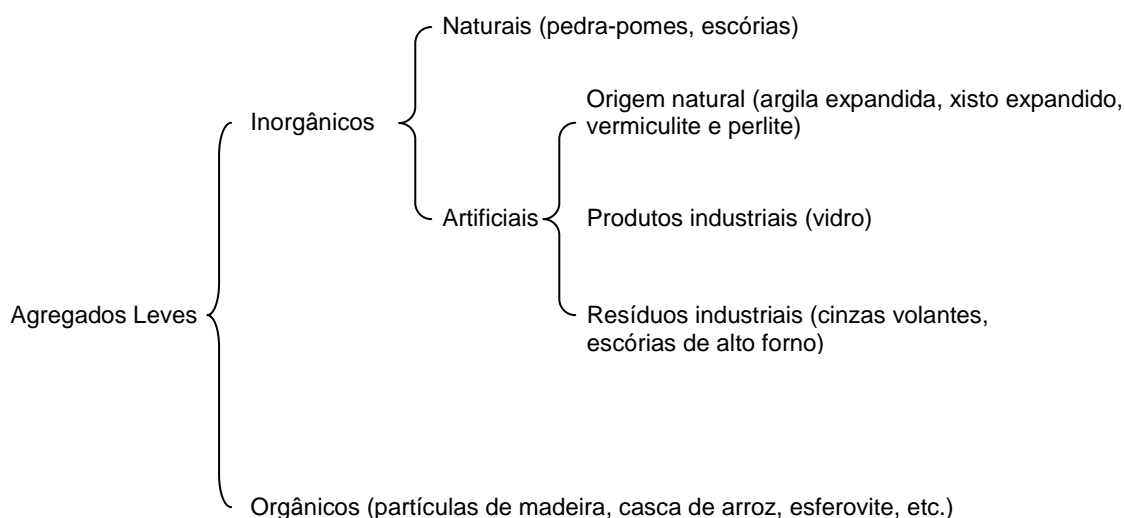
Tabela 5 – Classificação do agregado quanto à baridade e principais aplicações de betão com ele aplicado (adaptado de (Coutinho, 1988)).

Classificação do agregado	Baridade (kg/m ³)	Exemplos do agregado	Aplicações e betão resultante
Ultraleve	< 300	Poliestireno expandido; Vermiculite; Perlite expandida; Vidro expandido.	Com funções estritamente de isolamento termico e sem funções resistentes.
Leve	300 a 1200 (areia leve) 300 a 950 (grossos)	Argila expandida; Xisto expandido; Escória de alto-forno expandida; Cinzas volantes sinterizadas; Pedra-pomes.	Com funções de isolamento termico, resistência (betão estrutural) e leveza.
Denso (normal)	1200 a 1700 (areia) 950 a 1700 (grossos)	Areia; Godo; Rocha britada.	Betão normal com função resistente (betão estrutural).
Extradenso	> 1700	Limonete; Magnetite; Barita.	Com funções de protecção de radiações atómicas e resistentes.

O betão leve pode ser confeccionado só com agregado ultraleve ou leve, ou então, com uma mistura destes com o normal, em percentagens pré-determinadas, com o objectivo de aumentar a resistência mecânica e/ou diminuir o seu custo.

A característica essencial do agregado leve é a elevada porosidade, que resulta numa baixa massa volúmica. Sendo assim, só alguns dos agregados leves existentes podem ser utilizados na realização de betão leve, pois nem todos permitem alcançar as resistências e as densidades exigidas (Melo, 2000 , Silva, 2008).

O agregado leve incorporado na produção de betão leve pode ser classificado em função da sua origem, de acordo com o seguinte organograma:



Existe uma enorme diversidade de tipos de agregado leve, permitindo o fabrico de betão leve com diferentes características mecânicas e físicas. Os agregados podem ser mais leves ou mais pesados, mais ou menos resistentes, com maior ou menor condutibilidade térmica, etc. A variação da resistência para alguns dos diferentes tipos de agregados pode ser observada na Fig.5 (Coutinho).

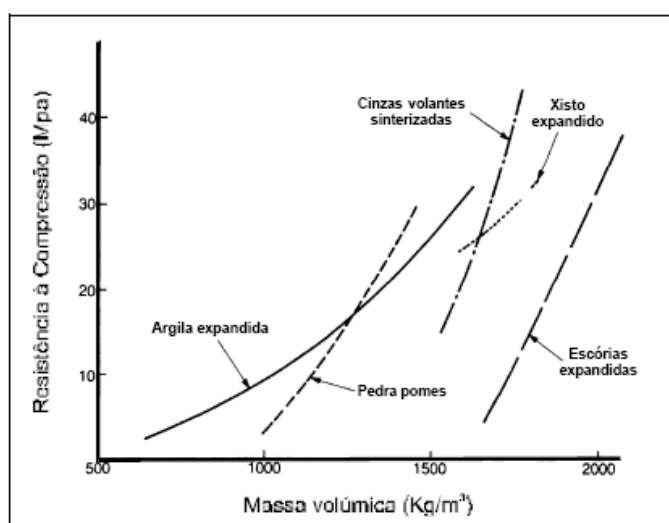


Fig.5 – Variação da resistência à compressão de betões em função da massa volúmica de agregados leves (adaptado de Construction Materials, 1994) (Coutinho).

Apesar desta enorme variedade de tipos de agregado leve, os que podem ser usados em betões estruturais são sobretudo os obtidos por expansão de argila, xisto ou ardósia (Melo, 2000 , Silva, 2008), tendo especial interesse neste trabalho os de argila expandida (LECA).

2.3.1. ARGILA EXPANDIDA



Fig.6 – Grãos de argila expandida (LECA).

O agregado leve de argila expandida obtém-se a partir da cozedura de argilas que favorecem a expansão. Numa fase de amolecimento da matéria a temperaturas de fusão incipiente (1000 a 1200°C), desenvolvem gases, que vão provocar a expansão do material, pois ficam encurralados na massa pirolástica viscosa. De seguida, dá-se um rápido arrefecimento, obtendo-se assim, um produto superficialmente duro, e leve, porque fica com uma textura interna celular (Coutinho, , Silva, 2008).

Até à II Guerra Mundial, a argila expandida servia essencialmente para a produção de barcos de betão leve. Só depois desta, é que a indústria de construção se começou a interessar seriamente por este agregado leve. Foi também nessa altura que na Europa a produção de argila expandida se disseminou. A Dinamarca desenvolveu a produção de argila expandida na Europa patenteando o processo de fabrico em fornos rotativos que ainda hoje é utilizado. A marca comercial LECA (Lightweight Expanded Clay Aggregate) era então criada na Dinamarca (Chandra, et al., 2002, Silva, 2008).

Com massa aproximadamente igual a 25 % da massa da areia ou da brita, a argila expandida é durável, tem boas características de isolamento térmico e acústico, é incombustível e é inerte. Durante o processo de fabrico as partículas com maiores dimensões rompem, pelo que existe sempre uma determinada percentagem de material com forma angular (Coutinho, , Silva, 2008).

As diferenças da porosidade e das características da superfície externa governam o comportamento dos betões leves. Assim, o seu conhecimento é fundamental para definir procedimentos correctos de amassadura, transporte, bombagem e colocação (Silva, 2008).

A argila expandida Leca é a única produzida em Portugal, no distrito de Leiria. A Leca Portugal é uma empresa de grupo Scancem que, com unidades fabris em Portugal, Suécia, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Noruega, Estónia e Espanha, é o maior produtor de argila expandida da Europa. Este fabricante recomenda que nos betões não se utilizem agregados com um diâmetro superior a 12 mm. Em geral as partículas maiores tendem a ser mais frágeis e a aumentarem a segregação (Coutinho). A

LECA nacional é essencialmente usada no nosso país para enchimentos leves em pavimentos e na pré-fabricação de produtos em betão leve (Silva, 2008).

2.3.1.1. Forma e aspecto exterior dos grãos

A forma e o aspecto exterior dos grãos são dependentes do processo usado no seu fabrico, podendo variar desde a angulosa até à quase perfeitamente esférica, sendo esta última a ideal para o fabrico de betões de agregado leve de elevado desempenho. Os industriais têm a capacidade de promoverem modificações nestes materiais conforme as aplicações.

A forma dos grãos não tem uma importância muito elevada na resistência do betão, uma vez que a rotura se dá pelos grãos antes da rotura na aderência entre a matriz e o agregado ter sido atingida.

O betão produzido a partir de grãos angulares requer uma quantidade de água superior ao betão fabricado com grãos arredondados, para se obter uma trabalhabilidade idêntica, sendo a água que penetra nos poros em maior quantidade. Importa também referir que os grãos arredondados têm um risco maior de segregação dos constituintes, sendo este um dos maiores problemas do betão leve com agregado de argila expandida (Silva, 2008).

2.3.1.2. Comportamento térmico

Como se sabe, o comportamento térmico dos agregados leves é melhor do que os de agregados correntes (Lourenço, et al., 2004).

2.3.1.3. Caracterização granulométrica

Existe uma gama muito alargada de classes granulométricas disponíveis no mercado, sendo estas escolhidas consoante o tipo de betão pretendido. A dimensão individual das partículas, assim como a sua granulometria, tem uma grande influência nas propriedades do betão leve e relacionam-se com outras características destes materiais. É de destacar, que o emprego de partículas de menor dimensão conduz, em geral, a uma maior resistência mecânica, um aumento da massa volúmica e da rigidez, e ainda, um aumento da condutibilidade térmica (Silva, 2008).

2.3.1.4. Baridade

A baridade dos agregados, também denominada por, massa volúmica aparente, define-se como sendo a massa de agregado necessária para preencher uma unidade de volume (ou seja, é a razão entre a massa e o volume aparente do agregado). A baridade varia muito conforme a natureza das partículas e a sua dimensão, sendo esta propriedade uma das de maior importância quando se tenta prever o comportamento do betão leve (Coutinho, , Instituto Português da Qualidade, 2007, Silva, 2008).

2.3.1.5. Massa volúmica

Define-se massa volúmica como a relação entre a massa e o volume total dos grãos com os poros incluídos, sendo a porosidade um factor que muito a condiciona (Silva, 2008).

Nos agregados de argila expandida a percentagem total de vazios dos grãos é muito superior aos agregados normais, atingindo uma percentagem entre 50 e 75 %, sendo uma parcela relativamente

reduzida destes vazios (5 a 20 %) correspondente a porosidade fechada. A quantidade, conectividade e a dimensão dos poros influenciam a velocidade de absorção de água pelo material (Silva, 2008).

A massa volúmica aparente dos betões fabricados com agregados leves de argila expandida, varia aproximadamente entre 400 e 1000 kg/m³ (Lourenço, et al., 2004).

2.3.1.6. Absorção

A absorção, que se define como sendo a relação entre a massa de água absorvida e a massa das partículas no estado anidro, é uma das características mais importantes dos agregados leves, pela influência que tem no desempenho do betão tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Num betão leve a absorção de água pela pasta é acompanhada pela expulsão do ar dos agregados, formando-se uma camada de borbulhas que fragiliza a zona de interface pasta/agregado. Um procedimento usado normalmente para diminuir este efeito nocivo consiste em reamassar o betão depois de um determinado período de espera, conseguindo-se assim distribuir as bolhas pela pasta. O transporte do betão leve em auto-betoneiras pode ter o mesmo efeito benéfico (Silva, 2008).

Importa também referir que, em agregados leves sujeitos a pressões elevadas, a absorção de água é muito superior à que se regista sob pressão normal. Por conseguinte, para betões leves, a trabalhabilidade requerida para a bombagem é muito superior à de um betão normal, uma vez que parte da água “pressionada” para o interior das partículas ficará retida (Silva, 2008).

Na normalização, a capacidade de absorção de água dos grãos está limitada, pois pode ter efeitos nefastos nas propriedades do betão endurecido (Silva, 2008). De facto, de acordo com a E 467, onde se estabelecem as propriedades e requisitos de conformidade dos agregados para todas as aplicações, a absorção de água dos agregados leves, calculada de acordo com a norma NP EN 1097 – 6, deve ser limitada a um valor máximo de 5% (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005).

2.3.1.7. Resistência dos grãos ao esmagamento

Quanto às resistências mecânicas, nestes betões dependentes das resistências dos próprios agregados leves, têm capacidades inferiores às indicadas para os betões de agregados correntes. Os agregados leves de maiores dimensões possuem menores resistências mecânicas, pelo que, betões realizados somente com estes agregados leves possuem frequentemente resistências entre 0.4 e 1.0 MPa. Estes baixos valores não constituem em geral um problema para as aplicações destes betões, por exemplo em pavimentos com sobrecargas correntes. Pode-se no entanto, melhorar as resistências, juntando-lhes areia e mais ligante (Lourenço, et al., 2004).

A resistência ao esmagamento dos agregados torna-se então um factor extremamente importante na escolha do agregado. A sua definição consiste na força necessária que é preciso exercer, para comprimir os agregados contidos num dado recipiente inicialmente cheio até se atingir um determinado volume (Silva, 2008).

Devido às pequenas dimensões dos grãos do agregado leve, não é possível determinar a resistência do mesmo modo que para os betões e agregados naturais. Para este ensaio, coloca-se uma amostra preparada de agregado leve num cilindro de aço especificado, e compacta-se por vibração. A resistência ao esmagamento é então expressa, como sendo a medição da força necessária, para que um pistão forçado sob pressão para o interior do cilindro, atinja uma determinada distância (Instituto Português da Qualidade, 2004).

A porosidade dos grãos de argila expandida influencia a sua resistência no que diz respeito à dimensão, à forma, à superfície, ao tipo e distribuição dos poros. Quanto maior é a porosidade dos grãos do agregado, menor é a sua resistência ao esmagamento. Para o mesmo grau de porosidade, os pequenos alvéolos uniformemente distribuídos são preferíveis relativamente às grandes cavidades (Silva, 2008).

2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BETÃO DE AGREGADOS LEVE

2.4.1. VANTAGENS

O betão leve é um material de inúmeras vantagens, sendo de seguida expostas algumas das mais importantes:

- 👍 **Pureza dos agregados** – Os agregados leves são fabricados, logo a sua qualidade, especificamente a composição química, é mais homogénea e fiável em comparação com os agregados usados para betão normal. Os agregados naturais podem variar bastante na sua composição química e mineralógica, podendo ter estes factores um efeito negativo sobre as propriedades relacionadas com a durabilidade do betão, podendo assim encurtar a sua vida útil;
- 👍 **Redução do peso global** – O peso próprio de um edifício é um factor importante para o projecto do mesmo, principalmente hoje em dia, em que é possível a construção de edifícios mais altos. Como o betão leve tem uma densidade mais baixa que o tijolo, verifica-se uma redução no peso próprio da estrutura, o que conduz a enormes ganhos na área física, uma das preocupações da actualidade. O menor peso resulta em economia das armaduras nas secções transversais dos elementos da superestrutura e nas dimensões das fundações, o que é favorável sobretudo em estruturas de grandes vãos, construções altas e terrenos de fundações de pior qualidade. O peso próprio baixo pode ser vantajoso também, no caso de elementos pré-fabricados, porque para uma determinada capacidade de carga dos equipamentos de elevação, podem-se manusear unidades maiores, tais como, vigas de alma cheia, de coberturas e vigas de pontes;
- 👍 **Melhores propriedades térmicas** – O menor coeficiente de expansão térmica reduz os deslocamentos por acção térmica, o que diminui o número de juntas exigidas em pontes extensas. As tensões por diferenciais térmicos, nos pilares de pontes e/ou contrafortes também são reduzidos. O isolamento térmico que o betão leve proporciona em edificações, conduz a economia na protecção térmica e na protecção contra o fogo. Dado que os agregados leves são, na sua maioria, fabricados por cozedura a elevadas temperaturas (mais de 1000°C) e como possuem resistência térmica considerável, será de esperar um excelente comportamento ao fogo. De facto, são na sua maioria classificados como materiais incombustíveis. Diversos ensaios e experiências executadas em paredes de alvenaria, maciças ou não, demonstram o bom desempenho dos betões de agregados leves no retardamento à propagação das chamas;
- 👍 **Durabilidade melhorada** – A durabilidade das estruturas a longo prazo pode ser melhorada com a utilização de betão de agregados leves. Este facto deve-se à reduzida probabilidade de retracção e de fendilhação térmica inicial, melhor ligação entre a pasta de cimento e o agregado, maior tolerância a uma cura externa insuficiente e aumento da resistência aos ciclos de gelo/degelo do betão de agregado leve. Como o betão leve é menos permeável que um betão convencional, as estruturas em betão leve requerem em geral, uma menor manutenção e têm um melhor desempenho;

- 👍 ***Maior rapidez de construção*** – Está provado, tanto experimentalmente quanto pela prática, que a utilização de betão leve reduz o tempo de execução;
- 👍 ***Facilidade de transporte*** – Devido à redução do peso dos elementos de betão leve (no caso de elementos pré-fabricados), comparando com o betão convencional, o transporte destes é efectuado de um modo mais simples.
- 👍 ***Redução dos custos*** – Apesar do betão de agregados leves ser mais caro do que o betão normal (pois necessita de dosagens de cimento superiores), podem-se alcançar poupanças devido ao seu menor valor de peso próprio e condutibilidade térmica, e à diminuição de outros materiais, e dos custos de construção. Existe potencial para reduções de custos ainda maiores se forem tomados em atenção os custos ao longo da sua vida útil resultantes da melhoria da durabilidade e menores custos de manutenção;
- 👍 ***Problemas ambientais*** – A vantagem para o meio ambiente pode ser significativa se forem utilizados resíduos industriais (como por exemplo cinza volante, cinza de escória expandida, etc.), para fabricar betão de agregados leves. Isto pode eliminar a necessidade de armazenamento, ou escoamento, de grandes quantidades de resíduos, reduzindo além disso, a dependência de agregados naturais. Porém, existem limitações pois os resíduos devem ser cuidadosamente analisados antes de serem utilizados, na medida em que os detritos que contêm metais pesados e radioactivos não podem ser empregados. De qualquer modo, em Portugal, os agregados leves não são presentemente fabricados a partir de resíduos;
- 👍 ***Problemas de saúde*** – Um dos factores, que não é considerado na avaliação dos materiais para edifícios, é a influência da movimentação em obra, pelos trabalhadores de betão com agregados leves versus betão comum, que é mais pesado. O risco de dores de costas para os trabalhadores é menor, o que causa a satisfação destes, assim como dos empreiteiros. É difícil apurar ao certo o valor das despesas necessárias para o tratamento das dores de costas, no entanto, neste sentido, é benéfica a utilização de betão de agregado leve para os governos e empresas seguradoras que pagam tratamentos médicos, e também para o empreiteiro, que terá de encontrar pessoal de substituição e despesas extra, no caso de doença de costas;
- 👍 ***Demolição*** – Quando uma estrutura em betão armado chega à fase de demolição, há uma vantagem considerável se o betão for um tipo de betão de agregados leves. Este tem baixa densidade e é mais fácil, o processo de fragmentação, comparado com o betão normal, podendo mesmo o betão de agregados leves triturado ter propriedades pozolânicas. O material resultante reciclado pode ser utilizado para a produção de betão ou como material de enchimento (Chandra, et al., 2002, Silva, 2008).

2.4.2. DESVANTAGENS

A utilização do betão leve deve ter em conta alguns dos seus inconvenientes:

- 👎 *O betão leve é mais frágil devido à elevada resistência relativa da pasta de cimento;*
- 👎 *Deve haver uma avaliação correcta da sua fraca capacidade de resistência à compressão e sobretudo à tracção, em função da utilização a prever;*
- 👎 *O betão de agregados leves pode requerer uma maior quantidade de cimento, dependendo do agregado escolhido;*

- ☞ *O aumento da temperatura devido ao calor de hidratação é maior, devido à maior quantidade de cimento utilizada, relativamente ao betão convencional;*
- ☞ *As suas superfícies exigem, geralmente, revestimentos de execução cuidadosa, devendo-se evitar o preenchimento dos poros intersticiais;*
- ☞ *Os agregados porosos necessitam de medidas especiais no caso de o betão ser bombeado;*
- ☞ *Limitação da resistência do betão de agregados leves pela resistência dos agregados de maiores dimensões, podendo este problema ser minorado através da utilização de agregado com menor dimensão máxima;*
- ☞ *Utilização de mais cimento.* Como se sabe é necessário reduzir o consumo de clínquer Portland devido às emissões de CO₂ que a sua produção provoca. Assim é importante considerar a utilização de adições no ligante e não apenas cimento Portland;
- ☞ *Deve ainda haver alguns cuidados com o fabrico, aplicação e cura do betão leve:*
 - * Estes betões devem ser vazados, por camadas horizontais, não superiores a 50cm;
 - * Não se devem produzir pastas excessivamente fluidas, nem volumes de pasta excessivos, sob o risco de escorrimento desta para o fundo do molde, isto é, segregação;
 - * Não utilizar vibradores para a compactação, sobretudo os de elevada frequência, pela mesma razão, antes apontada, segregação;
 - * Manter as peças húmidas, durante 3 dias, mas protegendo-as contra fortes chuvadas (Chandra, et al., 2002, Lourenço, et al., 2004, Silva, 2008).

2.5. APLICAÇÕES DO BETÃO LEVE

Devido às vantagens práticas que possui, e com a dificuldade em explorar agregados naturais por razões de esgotamento de recursos e problemas ecológicos, o betão de agregados leves tem-se tornado, nos últimos anos, um importante material estrutural, tendo aumentado a sua procura (Lourenço, et al., 2004, Silva, 2008).

Como o betão leve é um material que possui como vantagens, a sua leveza e a sua baixa condutibilidade térmica, pode ter interessantes aplicações nos domínios de enchimentos de elementos verticais (painéis do tipo “sanduíche”) e de elementos horizontais, nas variadíssimas situações que exigem aligeiramento de cargas e isolamento térmico (Lourenço, et al., 2004).

Existem dois tipos de estruturas em que o interesse da utilização do betão leve ganha relevo: as estruturas mistas aço/betão e as estruturas pré-fabricadas. Nas estruturas mistas, a redução do peso do betão permite o aligeiramento dos elementos metálicos, podendo conduzir a estruturas mais económicas. Nas estruturas pré-fabricadas, uma redução do peso pode conduzir a uma redução significativa dos custos de transporte e montagem. Em ambos os casos, a redução do peso da estrutura pode implicar, ainda, uma significativa redução do custo das fundações (Coutinho, , Silva, 2008).

Para além destas estruturas, as aplicações do betão leve são muito variadas, podendo ser utilizado em:

- * Edifícios de grande altura;
- * Pontes;
- * Pré-Fabricação;
- * Plataformas off-shore;

- * Outras aplicações, tais como: obras de reabilitação, pavimentos, contentores de fluidos, barragens, piscinas, depósitos, entre outras (Silva, 2008).

2.6. CONCLUSÕES

O betão leve tem sido utilizado desde os tempos antigos, estando algumas das estruturas ainda em boas condições, demonstrando assim a durabilidade deste tipo de betão (Chandra, et al., 2002).

Este tipo de betão pode ser utilizado para fabricar qualquer elemento de betão armado ou pré-esforçado, quer seja construído “in situ” ou pré-fabricado. O seu uso está especialmente recomendado nos casos em que os pesos próprios superem as sobrecargas, em obras de reabilitação, ou nas situações em que por critérios de projecto seja conveniente usar um betão com densidade inferior à habitual. A redução, que nalguns casos chega a atingir 40% do peso do betão convencional, pode conduzir a uma economia global considerável (Silva, 2008).

Além da construção de edifícios, o betão de agregados leves tem também sido utilizado na construção de navios, e para isolamento térmico.

Os benefícios económicos e práticos do betão de agregados leves de elevada resistência são particularmente atraentes para aplicações em plataformas e estruturas marítimas, arranha-céus e pontes de grandes vãos (Chandra, et al., 2002).

Em conclusão, a utilização do betão leve em muitas aplicações correntes deve ser uma meta a atingir, devido a todos os benefícios até agora expostos, de modo a que se possa assim contribuir para uma construção sustentável.

2.7. BIBLIOGRAFIA

- Chandra, S.; Berntsson, Leif; Knovel (Firm) - *Lightweight aggregate concrete science, technology, and applications*. Norwich, N.Y.: Noyes Publications : William Andrew Pub., 2002.
- Coutinho, A. de Sousa - *Fabrico e propriedades do betão*. 2ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1988.
- Coutinho, Joana de Sousa - *Betão com Agregados Leves*. Porto: FEUP, Instituto Português da Qualidade - *Agregados leves : NP EN 13055-1: 2004. Parte 1, agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção* Lisboa IPQ, 2004.
- Instituto Português da Qualidade - *Betão : NP EN 206-1: 2007. Parte 1, especificação, desempenho, produção e conformidade* 2ª. Lisboa: IPQ, 2007.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil - *Agregados para betões. Características e requisitos de conformidade*. E397. [s.l.]: LNEC, 2005.
- Lourenço, J. ; Júlio, E.; Maranha, P. - *Betões de agregados leves de argila expandida : guia para a sua utilização*. Coimbra: Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto - APEB, 2004.
- Melo, António Cardoso Fontes de - *Betões leves vibrocomprimidos com agregados de argila expandida : Estudo de composição e caracterização experimental* Porto: Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto,, 2000
- Silva, Bruno Miguel Martins - *Betão leve estrutural com agregados de argila expandida*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

3

PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objectivo, o estudo dos efeitos da substituição parcial do cimento Portland por cinza de casca de arroz, no fabrico de argamassas, com o intuito de prever o seu comportamento em betão estrutural. Foram produzidos dois tipos de argamassas, uma com areia normalizada e outra com agregado leve (Leca estrutural).

Foram também utilizados vários tipos de cinza de casca de arroz de proveniência diferente, uma portuguesa (Z), uma de origem espanhola (E) e duas gregas (A e Θ).

O programa de ensaios compreendeu duas fases, em que na primeira se produziu uma argamassa com areia normalizada, e na segunda argamassa com agregado leve. O ligante utilizado foi o cimento Portland (CEM I) e 10 ou 15% de substituição deste por cada uma das cinzas de casca de arroz. Os provetes com 100% de CEM I foram considerados os provetes de controlo (CTL), e também foram produzidos provetes com 10% de substituição por sílica de fumo comercializada, uma vez que esta adição é considerada das mais eficazes.

Os ensaios realizados sobre os provetes de argamassa foram de resistência mecânica (aos 7, 28 e 90 dias), e de durabilidade, nomeadamente: penetração acelerada de cloretos (através de ensaios que permitem a avaliação do Coeficiente de Difusão Aparente, segundo a NT BUILD 498 e LNEC 463), carbonatação acelerada e absorção de água por capilaridade.

Assim, o trabalho divide-se em duas etapas, tendo na primeira sido utilizadas argamassas de areia normalizada CEN, e na segunda, argamassas de agregado leve.

Nas argamassas de areia normalizada consideraram-se provetes de controlo com 100% de cimento, provetes com uma substituição de 10% do cimento por sílica de fumo (SF), por cinza de casca de arroz grega de dois tipos (A e Θ), e por cinza de casca de arroz portuguesa (Z), e provetes com uma substituição de 15% por cinza de casca de arroz dos tipos A, Θ e Z.

Nas argamassas leves foram estudados também provetes de controlo com 100% de cimento, e provetes com uma substituição parcial de 10% do cimento por sílica de fumo (SF), por cinza de casca de arroz grega (A e Θ), e por cinza de casca de arroz espanhola (E).

3.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para a realização deste trabalho foram os seguintes:

3.2.1. ARGAMASSA COM AREIA NORMALIZADA

3.2.1.1. Materiais

- Cimento Portland (CEM I) da classe 42,5R, de acordo com a regulamentação europeia produzido pela SECIL, cuja composição química (ver ficha informativa em Anexo) e granulometria obtida pelo granulômetro laser do LABEST (Laboratório da Tecnologia do Betão e do Comportamento Estrutural – ver em Anexo) estão representadas respectivamente na Tabela 6 e Fig.7.

Tabela 6 – Composição química do cimento utilizado (disponibilizada pela Secil).

Perda ao fogo	P. F.	2,85%
Resíduo insolúvel	R. I.	1,12%
Óxido de silício	SiO ₂	20,41%
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	4,74%
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	3,08%
Óxido de cálcio	CaO	62,28%
Óxido de magnésio	MgO	1,90%
Sulfatos	SO ₃	3,11%
Cloretos	Cl ⁻	0,0146%
Cal livre		1,01%

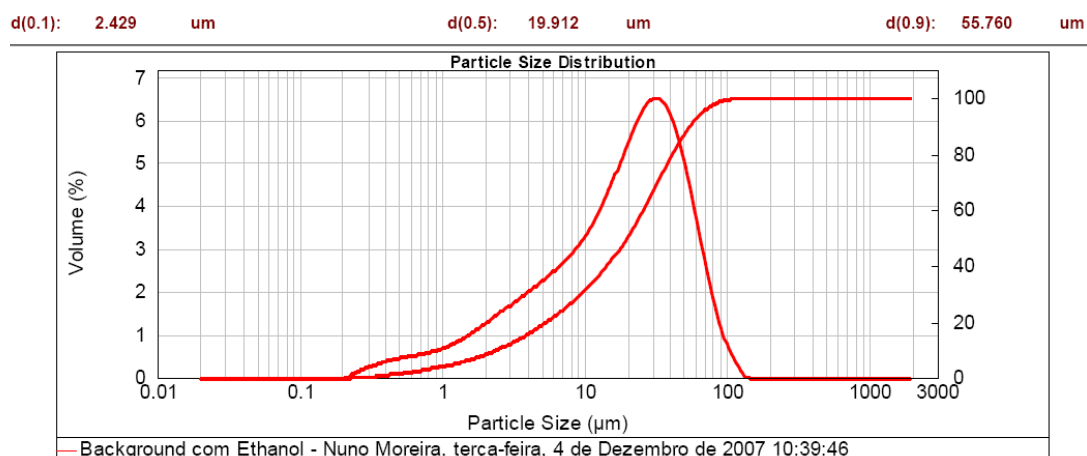


Fig.7 – Curva granulométrica laser do cimento CEM I 42.5 R utilizado.

- Areia normalizada CEN (Comité Europeu de Normalização).
- Água potável.

- Sílica de fumo (SF) comercializada (Sikafume – ver ficha informativa em Anexo) com partículas aglomeradas de cor cinzenta, constituída por dióxido de silício potencialmente reactivo e extremamente fino ($0,1\mu\text{m}$), podendo ser observada a olho nu e ao microscópio electrónico na Fig.8.

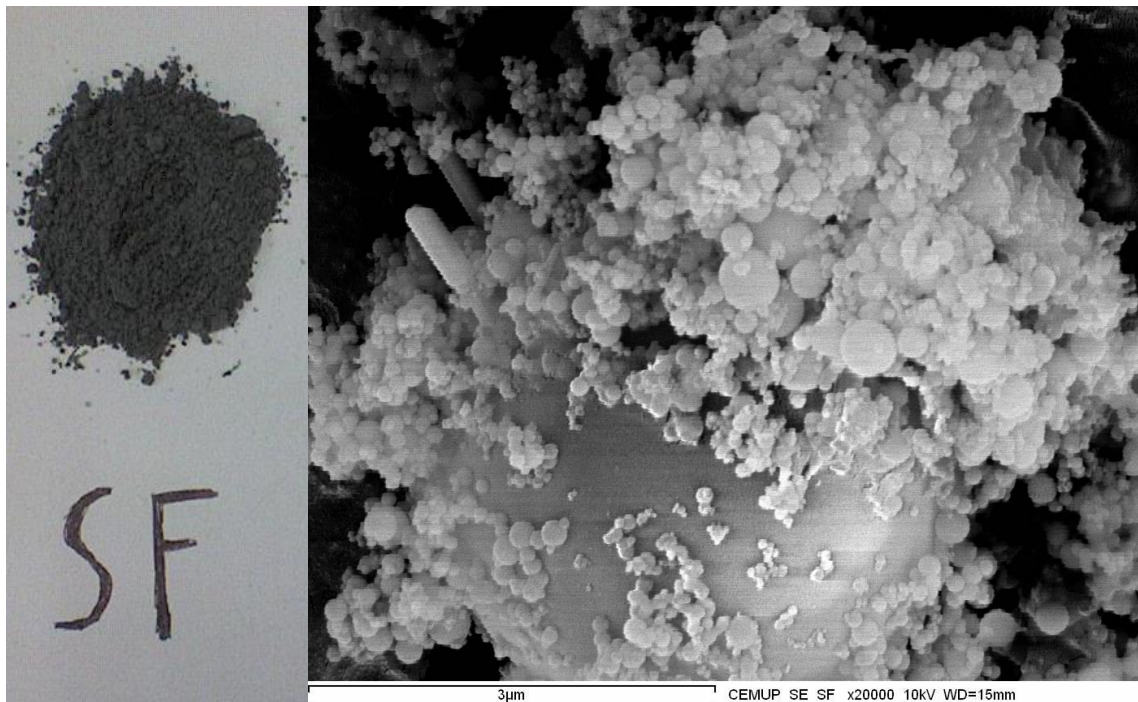


Fig.8 – Sílica de fumo a olho nu e ao microscópio electrónico 20 000 vezes ampliada.

- RHA, provenientes de três fontes distintas:
 - Fornecida por uma empresa portuguesa (Z), que foi previamente moída no laboratório, podendo ser observada a olho nu e ao microscópio electrónico na Fig.9, cuja granulometria laser (executada no LABEST – ver em Anexo) se apresenta na Fig.10, e caracterização química pedida a laboratório externo ainda não fornecida.

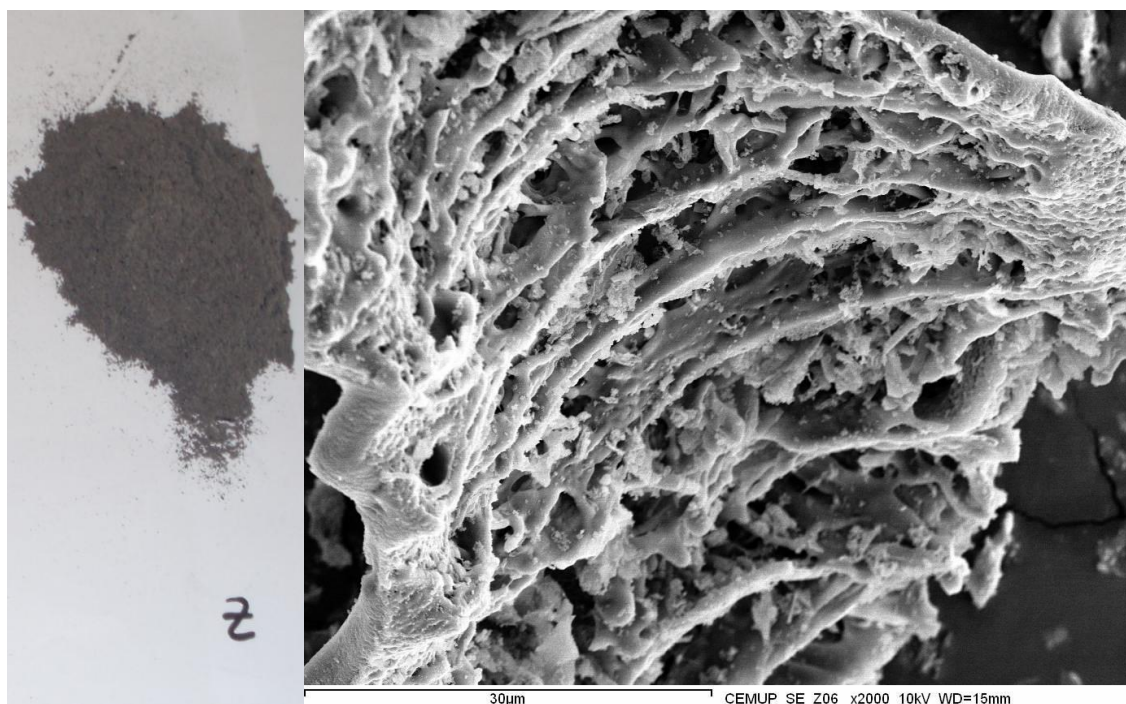


Fig.9 – RHA portuguesa Z a olho nu e ao microscópio electrónico 2 000 vezes ampliada.

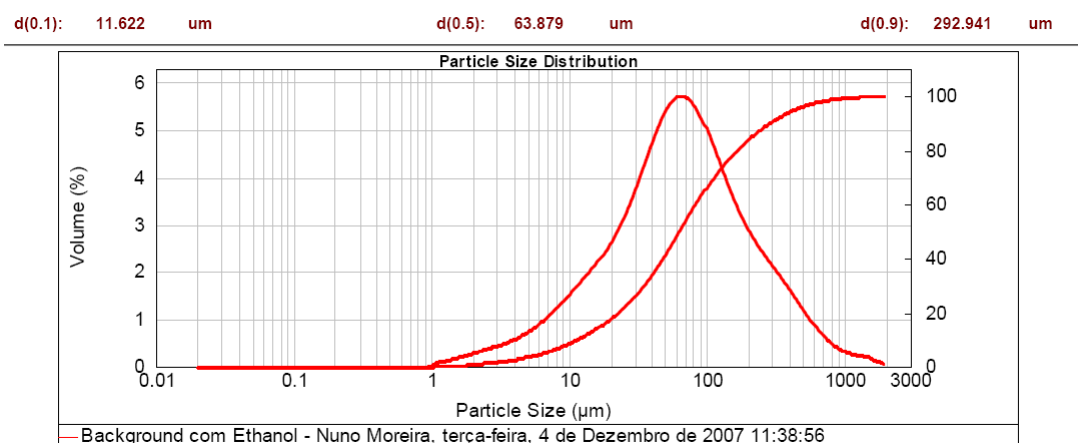


Fig.10 – Curva granulométrica laser da RHA portuguesa, Z.

- Fornecida por uma empresa grega (A), de cor negra e inodora, que foi previamente moída no laboratório, podendo ser observada a olho nu e ao microscópio electrónico na Fig.11, cuja caracterização química provida pelo fornecedor assim como pelo IETCC – Instituto Eduardo Torroja (Madrid) está representada na Tabela 7, e granulometria a laser obtida no LABEST (ver em Anexo) se apresenta na Fig.12.

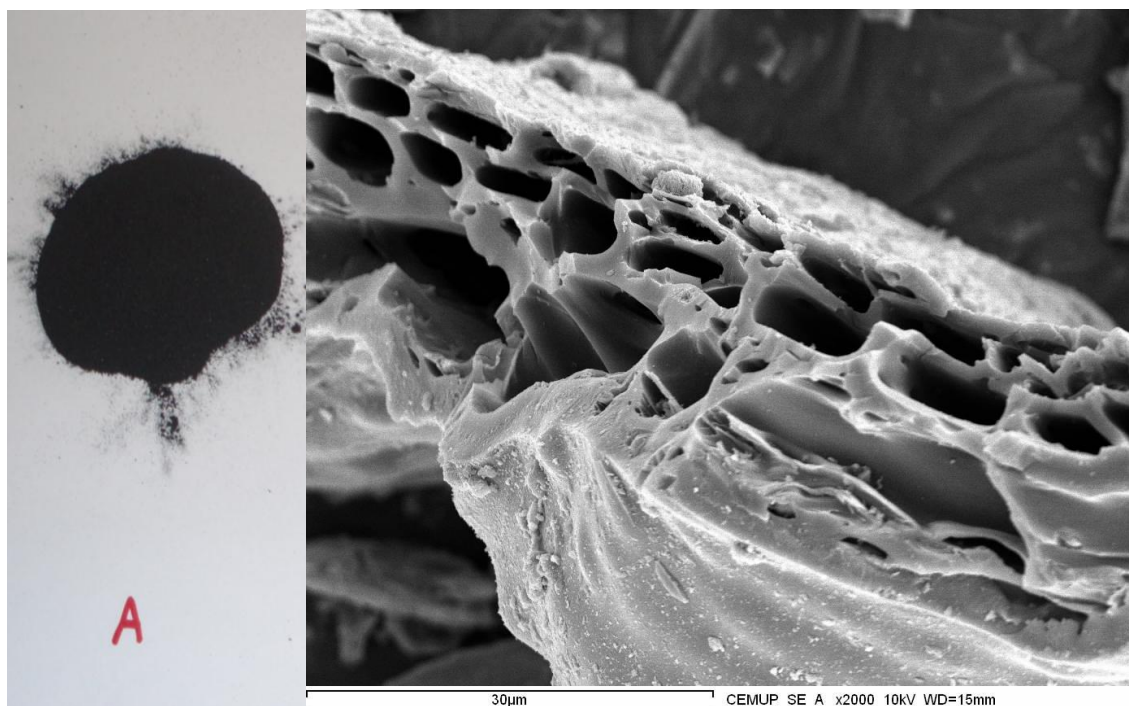


Fig.11 – RHA grega A a olho nu e ao microscópio electrónico 2 000 vezes ampliada.

Tabela 7 – Composição química da RHA grega, A.

		IETLC	Fornecedor
Perda ao fogo	P. F.	6,34%	
Sílica Total	SiO ₂	89,05%	88 - 98%
Sílica reactiva	SiO ₂	81,43%	
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	1,73%	< 1%
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	1,31%	
Óxido de cálcio	CaO	3,05%	< 1%
Óxido de magnésio	MgO	2,15%	
Óxido de cálcio livre	CaO	0,46%	
Óxido de potássio	K ₂ O		< 1%
Carbono	C		3,5 - 6,5%
Humidade			< 1,5%
Baridade			< 0,3 g/cm ³

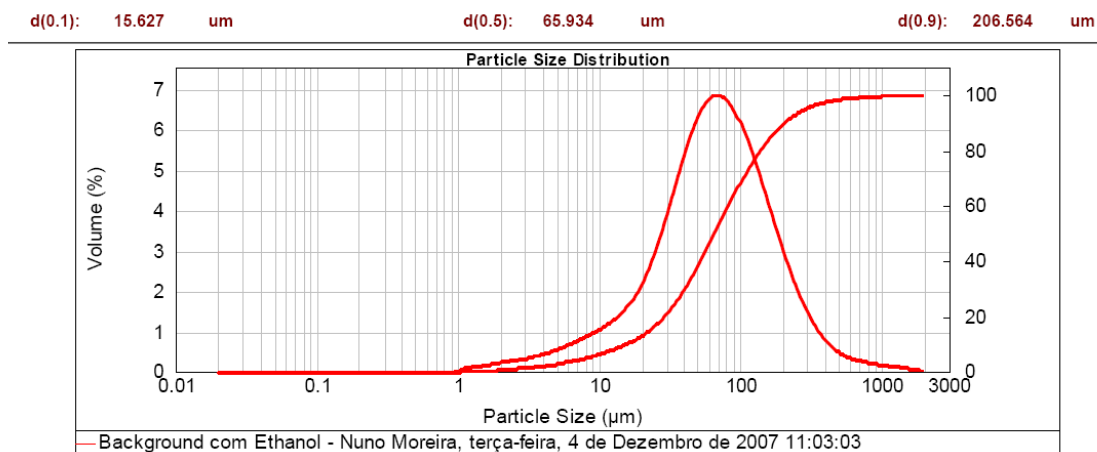


Fig.12 – Curva granulométrica laser da RHA grega, A.

- Fornecida por uma empresa grega (Θ) de cor negra e inodora, que foi previamente moída no laboratório, podendo ser observada a olho nu e ao microscópio electrónico na Fig.13, cuja caracterização química provida pelo fornecedor assim como pelo IETCC está representada na Tabela 8, e granulometria a laser determinada no LABEST (ver em Anexo) se apresenta na Fig.14.

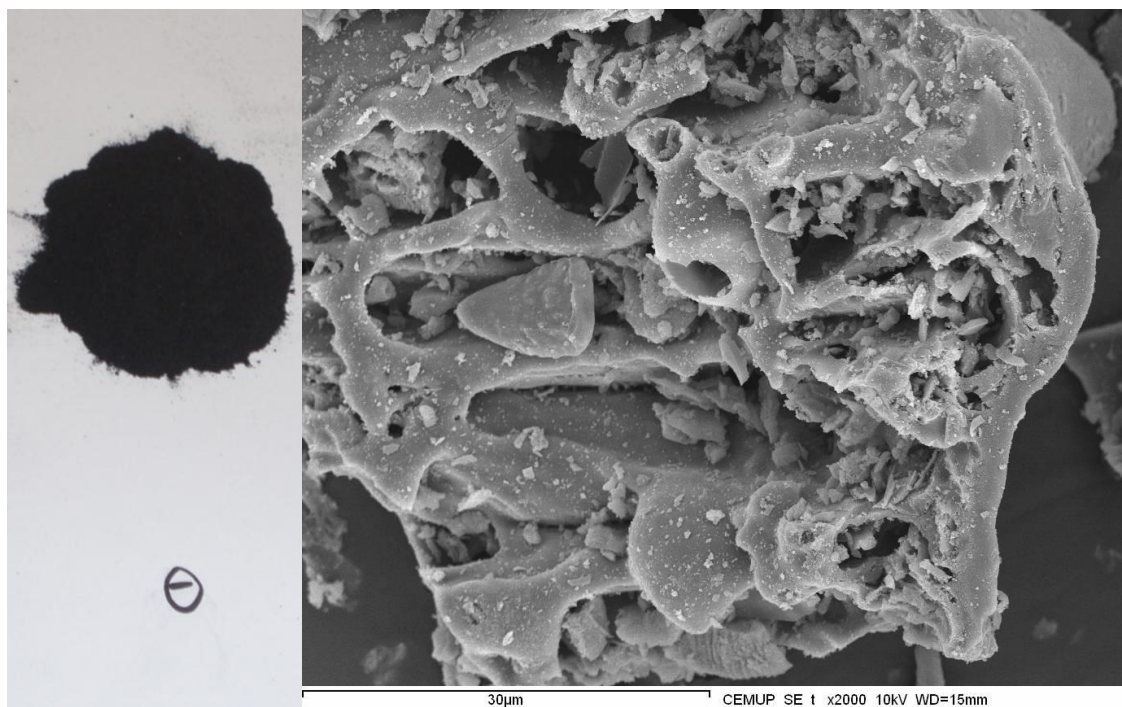
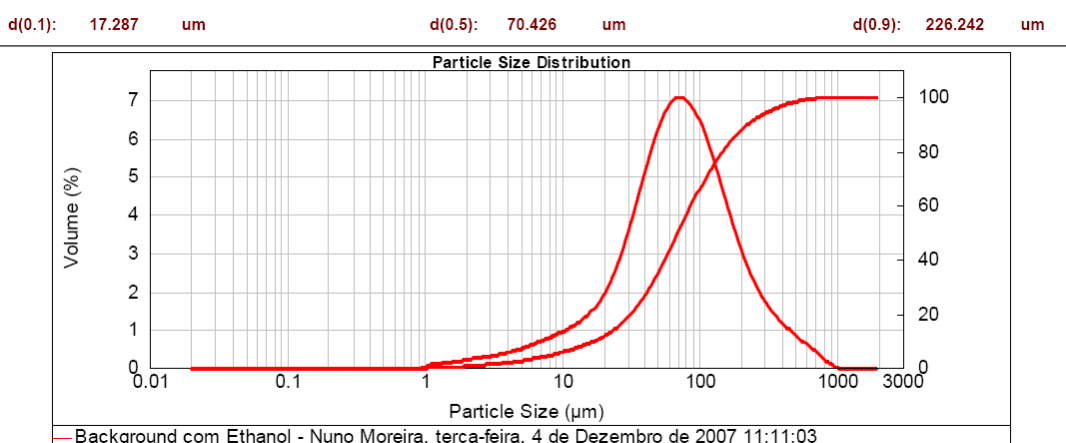


Fig.13 – RHA grega θ a olho nu e ao microscópio electrónico 2 000 vezes ampliada.

Tabela 8 – Composição química da RHA grega, Θ .

		IETLC	Fornecedor
Perda ao fogo	P. F.	6,30%	
Sílica Total	SiO ₂	86,50%	88 - 98%
Sílica reactiva	SiO ₂	78,64%	
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	2,70%	< 1%
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	0,00%	
Óxido de cálcio	CaO	4,40%	< 1%
Óxido de magnésio	MgO	1,97%	
Óxido de cálcio livre	CaO	0,00%	
Óxido de potássio	K ₂ O		< 1%
Carbono	C		3,5 - 6,5%
Humidade			< 1,5%
Baridade			< 0,3 g/cm ³

Figura 14 – Curva granulométrica laser da RHA grega, Θ .

- Superplastificante Sika ViscoCrete 3000, composto por carboxilatos modificados em base aquosa. É isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado, e cumpre os requisitos da norma NP EN 934-2:T3.1/3.2 (ver em Anexo a ficha informativa).

3.2.1.2. Quantidades

Para a realização de cada amassadura, foi utilizado um traço 1:3:0.5, estando as quantidades necessárias, por m³, representadas na Tabela 9. O procedimento utilizado no fabrico dos provetes foi, em geral, o preconizado na NP EN 196-1 (Instituto Português da Qualidade, 1996) com excepção do período final de mistura que foi aumentado de 3 minutos para garantir o efeito do superplastificante e uma boa mistura das adições (RHA's ou SF), levando a que o tempo total deste procedimento fosse de 7 minutos. O superplastificante foi adicionado directamente na água de amassadura e as adições

(RHA's ou SF) foram adicionadas conjuntamente com o cimento. Após a mistura, a argamassa foi compactada e introduzida em moldes nos quais permaneceu 24 horas. Decorrido esse tempo, os provetes foram desmoldados e colocados em água na câmara húmida até à data dos ensaios.

Tabela 9 – Quantidades necessárias por m³, consoante o tipo de provete de argamassa CEN.

	CTL	SF _{10%}	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	Θ _{10%}	Θ _{15%}
Areia (kg)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Cimento (kg)	500	450	450	425	450	425	450	425
Cinza (kg)	0	50	50	75	50	75	50	75
Água (L)	250	250	250	250	250	250	250	250
Superplastificante (% L)	0	0,94	0,83	1,11	0,33	0,61	0,33	0,61

A quantidade de superplastificante foi definida através de ensaios de trabalhabilidade. Esta foi avaliada imediatamente a seguir ao fabrico da argamassa por medição do diâmetro de espalhamento (mm) mediante utilização da mesa de espalhamento preconizada nas normas americanas ASTM C 109/90 (ASTM C 109/90) e ASTM 230 (ASTM C 230). Para determinação do diâmetro de espalhamento das argamassas no estado fresco foi seguido o procedimento descrito em 10.3.1 da norma ASTM C 109/90 (ASTM C 109/90). A mesa e molde utilizados estão de acordo com a norma ASTM 230 (ASTM C 230).

Realizou-se assim uma amassadura da argamassa de controlo, onde se mediu a sua trabalhabilidade, (X), conforme se pode ver na Tabela 10, e a partir desse valor, estabeleceu-se um limite de $X \pm 10\text{mm}$.

Tabela 10 – Trabalhabilidade da argamassa CEN de controlo.

	Medições (cm)			X (cm)
	1	2	3	
CTL	20,8	20,5	20,6	20,63

Partindo destes limites e para cada tipo de ligante (cimento mais adição), realizaram-se várias amassaduras, com diferentes quantidades de superplastificante, até se conseguir por tentativa/erro uma trabalhabilidade dentro dos limites estabelecidos ($20,63 \pm 10\text{ mm}$).

3.2.2. ARGAMASSA LEVE

3.2.2.1. Materiais

- Cimento Portland (CEM I) da classe 42,5R, apresentado anteriormente.
- Água potável.
- Sílica de fumo (SF) comercializada (Sikafume), apresentada anteriormente.
- RHA, fornecida por uma empresa espanhola (E), disponibilizada num estado pronto a usar, não sendo necessário proceder a qualquer tratamento ou moagem. Esta cinza apresenta uma cor negra,

como podemos observar na Fig.15. Do ponto de vista de segurança, este material não apresenta efeitos adversos à saúde humana nem efeitos nocivos ao meio ambiente e não é classificado como produto perigoso de acordo com as directrizes europeias de classificação de produtos perigosos (ver ficha informativa da Cincás em Anexo). A sua caracterização físico-química, provida pelo IETCC assim como pelo fornecedor (Cincás), está apresentada na Tabela 11 e 12 respectivamente, e granulometria a laser (ver em Anexo) na Fig.16.

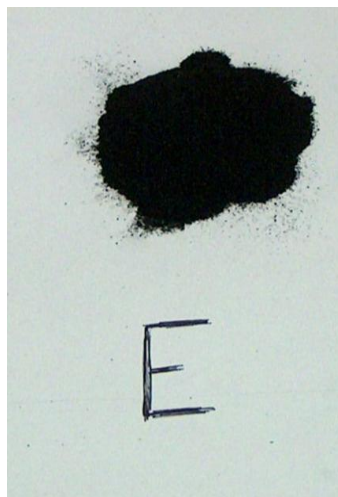


Fig.15 – RHA espanhola E a olho nu.

Tabela 11 – Composição química da RHA espanhola, E.

		IETLC	Fornecedor
Perda ao fogo	P. F.	7,86%	
Sílica Total	SiO ₂	81,82%	89,80 %
Sílica reactiva	SiO ₂	77,58%	
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	0,33%	0,052 %
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	0,00%	
Óxido de cálcio	CaO	4,37%	
Óxido de magnésio	MgO	2,53%	0,072 %
Óxido de cálcio livre	CaO	0,00%	0,220 %
Enxofre			0,160 %
Fósforo Total			0,160 %
Nitrogénio Total			0,760 %
Potássio			0,830 %
Sódio			0,026 %
Carbono Orgânico			1,080 %

Tabela 12 – Características físicas da RHA espanhola, E.

	Fornecedor
Densidade	0,454 g/cm ³
Solubilidade	0,1 g / 100g H ₂ O
Humidade (105 °C)	0,23 %
Granulometria	99,30 % < 2,00 mm
	94,00 % < 0,30 mm

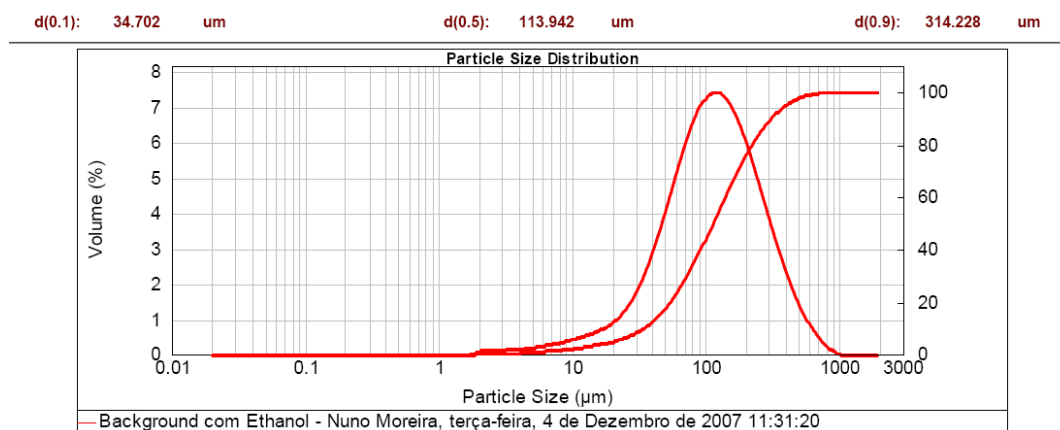


Fig.16 – Curva granulométrica a laser da RHA espanhola, E.

- Cinza de casca de arroz, fornecida por uma empresa grega, (A), apresentada anteriormente.
- Cinza de casca de arroz, fornecida por uma empresa grega, (Θ), apresentada anteriormente.
- Superplastificante Sika ViscoCrete 3000, apresentado anteriormente.
- Leca 2/4.

Para uma melhor caracterização da Leca foi feito a determinação da massa volúmica de acordo com o ponto 9 (Método do picnómetro para partículas de agregado de dimensões entre 0,063mm e 4mm) da Norma NP EN 1097-6 (Instituto Português da Qualidade, 2004).

Com base nessa norma, foi possível calcular a massa volúmica das partículas (ρ_a , ρ_{rd} , e ρ_{ssd}), em quilograma por metro cúbico, de acordo com as seguintes expressões:

Massa volúmica do material impermeável das partículas:

$$\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w} \quad (2)$$

Massa volúmica das partículas secas em estufa:

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w} \quad (3)$$

Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca:

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w} \quad (4)$$

Os pesos M_1 , M_2 , M_3 e M_4 retirados do ensaio foram os indicados na Tabela 13 que, introduzidos nas equações (2), (3), (4) e (5) acima indicadas, deram os resultados representados na Tabela 14.

Tabela 13 – Pesos M_1 , M_2 , M_3 e M_4 .

	Peso (g)	
Peso Leca saturada com superfície seca	M₁	956,9
Peso picnómetro cheio com água e Leca após 24h em banho-maria	M₂	7070,4
Peso picnómetro cheio com água	M₃	6757,9
Peso Leca após secar na estufa até massa constante	M₄	891,2

Para se obter o peso M_1 foi necessário secar a superfície da Leca com um secador até esta ter um aspecto de acordo com o descrito na norma NP EN 1097-6 (Instituto Português da Qualidade, 2004), que se mostra na Fig.17.

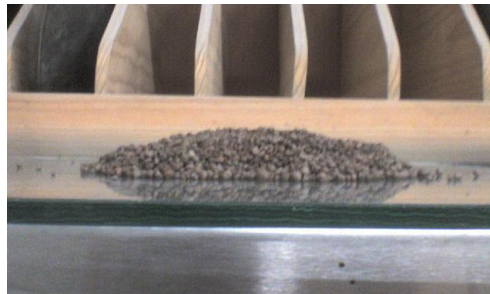


Fig.17 – Leca após se retirar o molde.

Tabela 14 – Valores das massas volúmicas para a Leca 2/4.

ρ_a	1540	Kg/m ³
ρ_{rd}	1383	Kg/m ³
ρ_{ssd}	1485	Kg/m ³

O valor encontrado para ρ_{ssd} confirma aproximadamente o valor do fornecedor de 1470kg/m³, que se considerou nos cálculos da composição. Para o cálculo da composição da argamassa leve partiu-se do facto conhecido de que a quantidade de cimento em betão leve deve ser cerca de 10% superior ao cimento, em composições de betão comum. Assim, considera-se como dosagem de cimento para a argamassa leve o valor de 550kg/m³. Como se pretendia uma argamassa leve equivalente à argamassa CEN procurou-se, numa primeira tentativa, empregar a mesma razão água/cimento, utilizando a equação fundamental (6) e os dados da Tabela 15, no entanto obteve-se uma trabalhabilidade muito superior à da argamassa de controlo considerada, de tal forma que não foi possível completar o procedimento, pois o espalhamento atingiu o máximo mensurável, isto é, o limite da mesa de espalhamento.

Tabela 15 – Dados para o cálculo da quantidade de Leca/m³

C	550	kg/m ³
ρ_{cimento}	3100	Kg/m ³
ρ_{Leca}	1470	Kg/m ³
V_{vazios}	35	l/m ³
Relação A/C	0,5	

Equação Fundamental:

$$c + m + a + V_{\text{vazios}} = 1 \quad (6)$$

Em que:

c – volume real do cimento em 1m³ de argamassa;

m – volume real do agregado em 1m³ de argamassa;

a – volume real da água em 1m³ de argamassa.

$$\frac{550}{3100} + m + \frac{0,5 \times 550}{1000} + 0,035 = 1$$

$$m = 0,513 \text{ m}^3$$

O volume real ocupado pelo agregado em 1m³ de argamassa, tratando-se de Leca, corresponde à massa seguinte:

$$M = 0,513 \times 1470 = 753,5 \text{ kg/m}^3$$

Após esta primeira amassadura demasiado trabalhável decidiu-se então reduzir a quantidade de água, o que implicava uma menor razão A/C e portanto uma argamassa leve já “não equivalente” à argamassa de controlo.

Assim e aplicando novamente a equação fundamental (6), mas agora com uma razão água/cimento de 0,45, refizeram-se os cálculos, tendo-se obtido os seguintes dados:

$$\frac{550}{3100} + m + \frac{0,45 \times 550}{1000} + 0,035 = 1$$

$$m = 0,540 m^3$$

E então a massa de Leca correspondente será de:

$$M = 0,540 \times 1470 = 793,9 kg/m^3$$

Absorção de água ao longo do tempo:

Para conhecer a absorção de água ao longo do tempo pesou-se cerca de 1kg de Leca, que foi introduzida num saco de rede (Fig.18), e se colocou totalmente submerso em água, tendo-se pesado a Leca em intervalos sucessivos ao longo do tempo.



Fig.18 – Peso da Leca imediatamente antes da imersão.

O intervalo de tempo definido para o ensaio foi de 24h, tendo sido registado o peso do saco com o material, e sem água em excesso, em intervalos crescentes de tempo. Foi utilizado para este efeito um procedimento que consistiu em sacudir bem o saco de cada vez que era retirado do balde com água, de seguida envolveu-se numa toalha para secar a água superficial, e por fim abriu-se o saco e com um

secador aplicou-se uma corrente de ar quente (Fig.19), cerca de 5 minutos, que permitiu secar a Leca até esta perder o seu brilho húmido (Fig.20).



Fig.19 – Secagem da Leca com a aplicação de um secador.



Fig.20 – Aspecto da Leca após secagem.

Os valores obtidos são os indicados na Tabela 16, e o diagrama da relação absorção/tempo está representado na Fig.21.

Tabela 16 – Evolução do peso da Leca ao longo do tempo.

Tempo (min)	Peso (g)	Variação Peso (g)	Absorção (%)
0	1051,3	0	0,00
2	1160,5	109,2	10,39
5	1167,7	116,4	11,07
10	1175,3	124,0	11,79
20	1177,8	126,5	12,03
30	1182,3	131,0	12,46
60	1185,6	134,3	12,77
120	1193,4	142,1	13,52
1440	1212,7	161,4	15,35

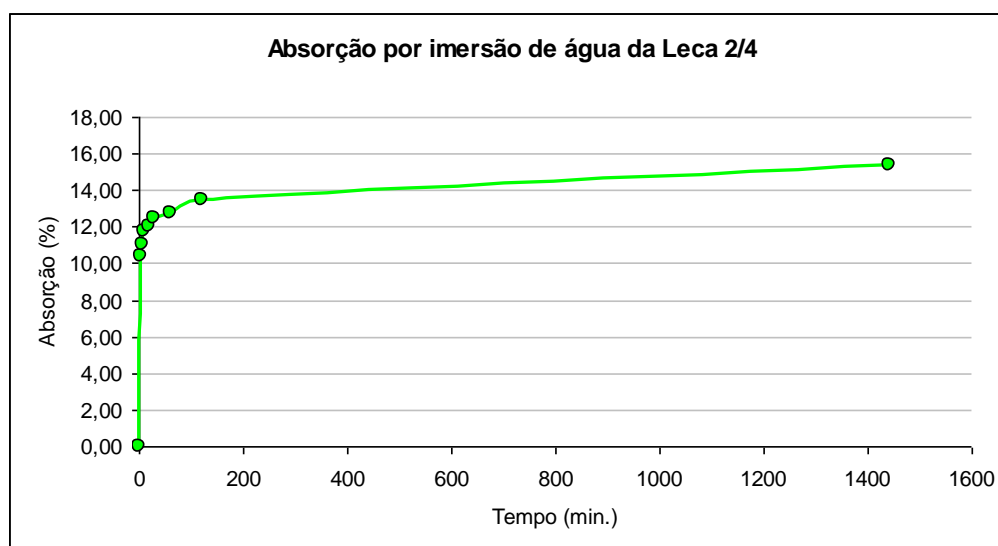


Fig.21 – Relação entre a absorção de água da Leca e o tempo efectivo dentro de água.

Com estes dados, pode-se inferir que o valor da absorção por imersão da Leca 2/4, ao fim das 24 horas é cerca de 15,35%, e que ao fim de 10 minutos (12%) é semelhante ao valor ao fim de uma hora (13%), e pouco menor que ao fim de 24 horas.

3.2.2.2. Quantidades

Para a realização de cada amassadura, utilizaram-se as quantidades necessárias, por m^3 , representadas na Tabela 17. O procedimento utilizado no fabrico dos provetes foi o descrito anteriormente.

Tabela 17 – Quantidades necessárias em m^3 , consoante a composição destas argamassas.

		CTL	SF _{10%}	E _{10%}	A _{10%}	Θ _{10%}
Areia (kg)		793,9	793,9	793,9	793,9	793,9
Cimento (kg)		550	495	495	495	495
Cinza (kg)		0	55	55	55	55
Água (L)	0,5L	247,50	247,50	247,50	247,50	247,50
	absorção	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
	total	297,50	297,50	297,50	297,50	297,50
Superplastificante (% L)		0	0,45	0,40	0,08	0,08
Água/Ligante		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

A quantidade de água de absorção foi determinada supondo um valor de 6.3% (Lourenço, et al., 2004). Este valor de 6.3% foi estabelecido com base em ensaios anteriores com o mesmo tipo de agregado (Silva, 2008). De facto, o ensaio da absorção referido acima só foi realizado posteriormente. Acertando agora a composição, considerando o valor efectivamente encontrado para a absorção aos 5 minutos de 11,07% e refazendo os cálculos obtêm-se a seguinte composição:

$$\frac{550}{3100} + \frac{793,9}{1470} + \frac{209,6}{1000} + 0,035Vt = Vt \, m^3$$

$$(1 - 0,035)Vt = 0,9271m^3$$

$$Vt = 0,9607m^3$$

$$C = \frac{550}{0,9607} = 572,5kg/m^3$$

$$M = \frac{793,9}{0,9607} = 826,4kg/m^3$$

$$A = \frac{209,6}{0,9607} = 218,2l/m^3$$

A quantidade de superplastificante foi definida, novamente, através de ensaios de trabalhabilidade. Para isso realizou-se uma amassadura da argamassa de controlo, onde se mediu a sua trabalhabilidade,

(Y), conforme se pode ver na Fig.22 e na Tabela 18, a partir desse valor, estabeleceu-se um limite de $Y \pm 10\text{mm}$.



Fig.22 – Trabalhabilidade da argamassa leve.

Tabela 18 – Trabalhabilidade da argamassa leve de controlo.

	Medições (cm)			Y (cm)
	1	2	3	
CTL	22,0	21,7	21,7	21,80

Partindo destes limites, e para cada tipo de ligante (cimento mais adição), realizaram-se várias amassaduras, com diferentes quantidades de superplastificante, até se conseguir por tentativa/erro uma trabalhabilidade dentro dos limites estabelecidos ($21,80 \pm 10\text{ mm}$).

3.3. ENSAIOS

3.3.1. ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios de resistências mecânicas são importantes para a caracterização do material do ponto de vista estrutural.

* Resistências Mecânicas aos 7, 28 e 90 dias

As resistências mecânicas à flexão e compressão foram determinadas de acordo com a norma NP EN 196-1 (Instituto Português da Qualidade, 1996), tendo-se fabricado para o efeito três provetes de forma prismática, com as dimensões 40mm x 40mm x 160mm. Estes três provetes foram utilizados para a determinação das resistências, excepto para as resistências aos 7 dias, onde só se utilizaram dois provetes, tendo sido o terceiro utilizado para o ensaio de carbonatação.



Fig.23 – Máquina de ensaio à flexão e à compressão.

3.3.1.1. Argamassa com areia normalizada

Os resultados obtidos para a Resistência à Flexão são os representados na Fig.24, estando os resultados numéricos representados em Anexo.

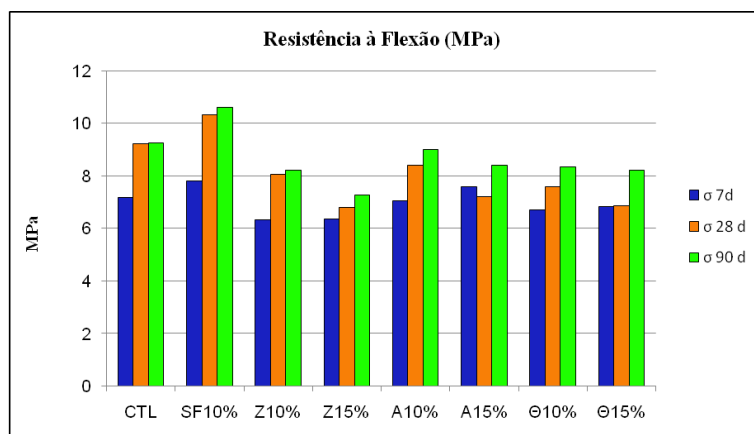


Fig.24 – Resistência à Flexão, em MPa aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa CEN.

Os resultados obtidos para a Resistência à Compressão estão representados na Fig.25, e os numéricos apresentam-se em Anexo.

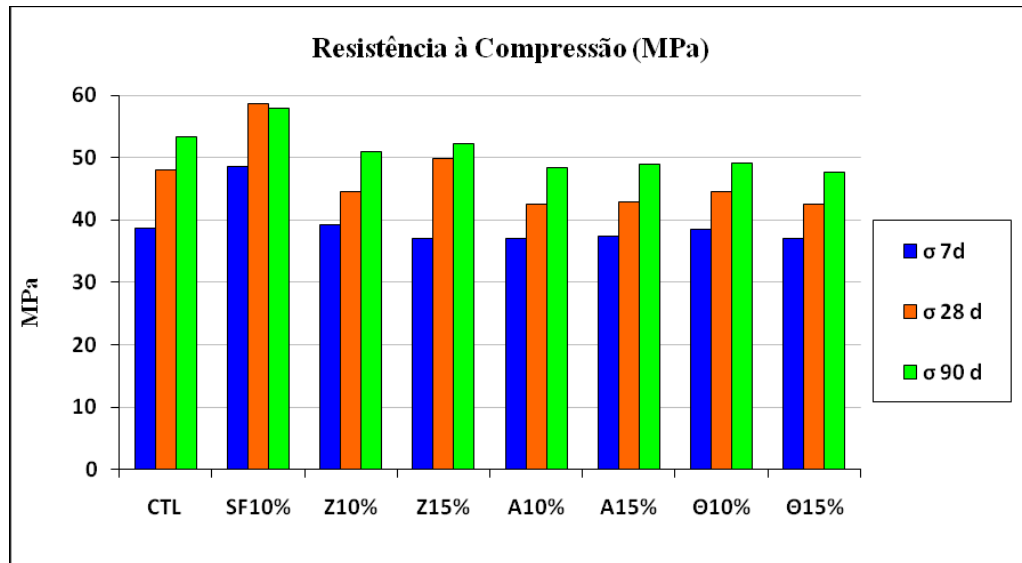


Fig.25 – Resistência à Compressão, em MPa, aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa CEN.

3.3.1.2. Argamassa leve

Os resultados obtidos para a Resistência à Flexão são os representados na Fig.26, estando os resultados numéricos apresentados em Anexo.

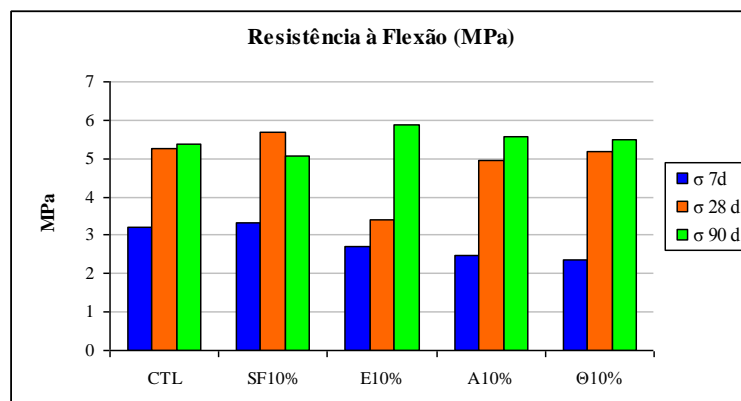


Fig.26 – Resistência à Flexão, em MPa, aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa leve.

Os resultados obtidos para a Resistência à Compressão estão representados na Fig.27, estando os valores apresentados em anexo.

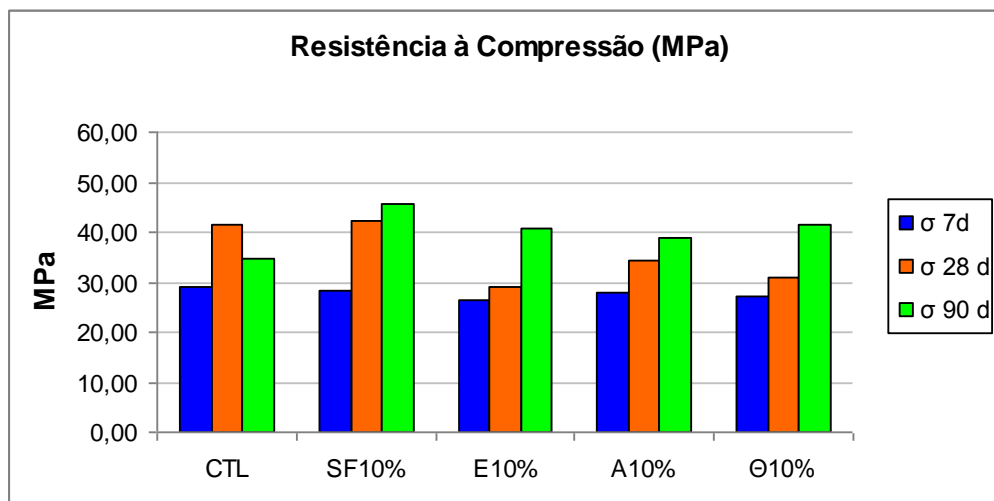


Fig.27 – Resistência à Compressão, em MPa, aos 7, 28 e 90 dias, da argamassa leve.

3.3.2. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS

A penetração dos cloretos é a principal causa da corrosão localizada em betão armado. Este fenómeno ocorre por acção dos iões cloreto, que quando penetram no betão e atingem junto da armadura, uma concentração superior ao teor crítico em cloretos, provocam uma dissolução localizada da película passiva e, se houver humidade e oxigénio suficiente, originam corrosão, o que pode reduzir drasticamente a secção do aço em intervalos de tempo muito curtos para além de provocar fissuração, descamação e delaminação.

Para este ensaio o procedimento utilizado foi o descrito na Especificação do LNEC E – 463 (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004) e NT Build 492 (Method, 1999), que se baseia numa relação teórica entre migração e difusão permitindo calcular o Coeficiente de Difusão Aparente. Este método requer 3 provetes cilíndricos, com um diâmetro de 100mm e uma altura de 50mm, que foram moldados (Fig.28), de acordo com a norma NP EN 196-1 (Instituto Português da Qualidade, 1996) segundo um procedimento ligeiramente modificado, como já foi explicado anteriormente.

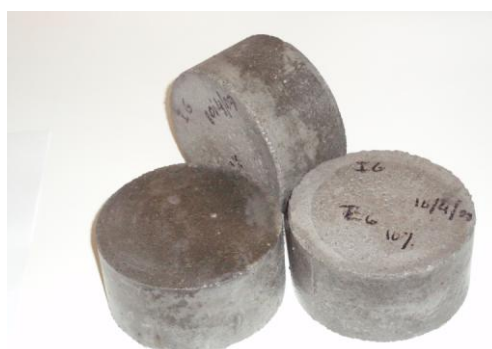


Fig.28 – Provetes cilíndricos.

3.3.2.1. Argamassa com areia normalizada

Após a descofragem, os provetes foram colocados numa câmara húmida, onde estiveram imersos em água até atingirem as 8 semanas de idade. Foram então preparados por saturação (Fig.29) com uma solução de hidróxido de cálcio para serem ensaiados.



Fig.29 – Câmara de saturação.

Cada provete foi depois colocado numa célula própria para o efeito, aplicando-se entre os topos do provete um potencial eléctrico, o que forçou, por migração, o transporte dos iões cloreto através do betão (Fig.30). A voltagem aplicada foi de 30V, e o tempo de ensaio foi de 24 horas.



Fig.30 – Células para os cloretos.

Após este período de ensaio, abriu-se o provete por compressão linear e pulverizaram-se, com uma solução de nitrato de prata, ambas as secções obtidas (Fig.31).



Fig.31 – Provetes de argamassa com areia CEN após a pulverização com nitrato de prata.

A profundidade de penetração foi medida através do precipitado branco visível do cloreto de prata, tendo-se obtido um valor médio de penetração, x_d , necessário para o cálculo do Coeficiente de Difusão Aparente, D_{ns} , conforme apresentado na Equação 9.

$$D_{ns} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} (x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)Lx_d}{U-2}}) \quad (9)$$

Os resultados obtidos neste ensaio são os apresentados na Tabela 19, e na Fig.32 estão representados os seus valores médios (os resultados numéricos apresentam-se em Anexo).

Tabela 19 – Coeficientes de Difusão Aparente dos provetes de argamassa CEN.

Provete		$D_{ns} \times 10^{-12}$ (m ² /s)	Desv. Pad. $\times 10^{-12}$ m ² /s	Média $\times 10^{-12}$ m ² /s
CTL	CTL ¹	14,8	0,50	15,3 ± 0,50
	CTL ²	15,8		
	CTL ³	15,3		
SF _{10%}	SF _{10%} ¹	2,5	0,22	2,4 ± 0,22
	SF _{10%} ²	2,6		
	SF _{10%} ³	2,2		
Z _{10%}	Z _{10%} ¹	12,4	0,73	12,7 ± 0,73
	Z _{10%} ²	12,2		
	Z _{10%} ³	13,5		
Z _{15%}	Z _{15%} ¹	5,0	1,88	7,1 ± 1,88
	Z _{15%} ²	8,7		
	Z _{15%} ³	7,5		
A _{10%}	A _{10%} ¹	15,0	1,35	16,3 ± 1,35
	A _{10%} ²	17,7		
	A _{10%} ³	16,3		
A _{15%}	A _{15%} ¹	17,7	0,70	17,6 ± 0,70
	A _{15%} ²	18,3		
	A _{15%} ³	16,9		
Θ _{10%}	Θ _{10%} ¹	18,6	1,19	17,2 ± 1,19
	Θ _{10%} ²	16,6		
	Θ _{10%} ³	16,5		
Θ _{15%}	Θ _{15%} ¹	16,6	0,72	16,6 ± 0,72
	Θ _{15%} ²	15,8		
	Θ _{15%} ³	17,3		

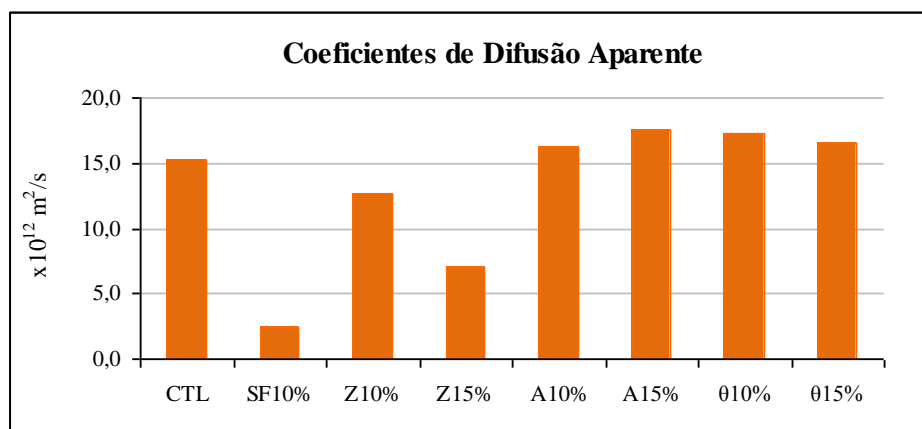


Fig.32 – Valores médios do Coeficientes de Difusão Aparente para os provetes de argamassa com areia CEN.

3.3.2.2. Argamassa leve

O procedimento após o fabrico dos provetes cilíndricos foi idêntico ao das argamassas com areia CEN, apresentando-se na Fig.33, os provetes após a pulverização com a solução de nitrato de prata.



Fig.33 – Provetes de argamassa leve após a pulverização com nitrato de prata.

Os resultados dos Coeficientes de Difusão Aparente deste ensaio estão representados na Tabela 20, e na Fig.34 onde se apresentam os seus valores médios (os resultados numéricos apresentam-se em Anexo).

Tabela 20 – Coeficientes de Difusão Aparente dos provetes de argamassa leve.

Provete	D_{ns} (m^2/s)	Desv. Pad. (m^2/s)	Média m^2/s
CTL	CTL1	9,61	$9,58 \pm 0,75$
	CTL2	10,30	
	CTL3	8,81	
SF _{10%}	SF1	4,19	$4,16 \pm 1,24$
	SF2	5,38	
	SF3	2,90	
E _{10%}	E1	5,71	$5,58 \pm 0,13$
	E2	5,58	
	E3	5,45	
A _{10%}	A1	8,98	$9,48 \pm 0,50$
	A2	9,49	
	A3	9,98	
Θ _{10%}	Θ1	8,44	$7,91 \pm 0,56$
	Θ2	7,97	
	Θ3	7,33	

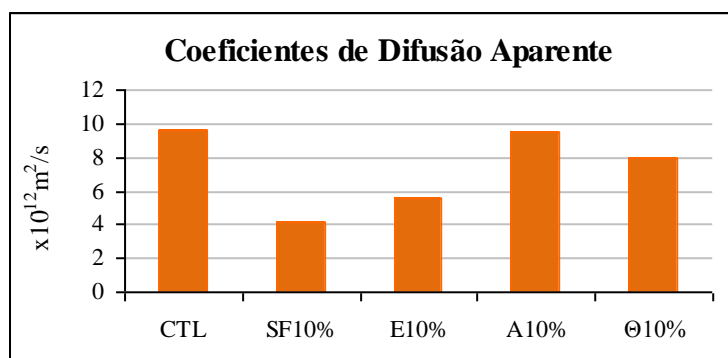


Fig.34 – Valores médios do Coeficiente de Difusão Aparente para os provetes de argamassa leve.

3.3.3. ENSAIOS DE RESISTIVIDADE ELÉCTRICA

A importância da resistividade como parâmetro da durabilidade do betão, tem vindo a tornar-se cada vez mais evidente, e tem sido progressivamente inserida pelos meios científicos europeus, numa abordagem probabilística para o projecto de durabilidade de estruturas marítimas. Na realidade, quando os poros do betão estão totalmente saturados, a corrente eléctrica flui com maior ou menor facilidade através do betão, de acordo com a natureza e conectividade da rede porosa.

Em consequência, considerou-se importante o cálculo da resistividade, possibilitada pela realização dos ensaios de penetração de cloretos em condições de saturação total dos provetes, a partir do conhecimento da intensidade de corrente, medida ao fim de cinco minutos de ensaio.

Os valores da resistividade obtidos, foram calculados através da Equação 10 seguidamente apresentada.

$$\rho \equiv R \cdot \frac{A}{L} \equiv \frac{V \cdot A}{L \cdot I} \quad (10)$$

Na qual:

ρ – Resistividade eléctrica ($\Omega \cdot m$)

R – Resistência eléctrica (Ω -Ohm)

I – Corrente (Amperes)

V – Diferença de potencial (Volt)

L – Comprimento do provete (m)

A – Área transversal do provete atravessado pela corrente (m^2).

3.3.3.1. Argamassa com areia normalizada

Os resultados obtidos com as argamassas de areia normalizada estão expostos nas Tabela 21, bem como na Fig.35, onde se pode fazer uma avaliação mais comparativa dos valores, para cada um dos diferentes tipos de argamassas (os resultados numéricos apresentam-se em Anexo).

Tabela 21 – Valores de Resistividade para as argamassas de areia normalizada.

Provete		Resistividade ($\Omega.m$)	Desvio Padrão Resistividade ($\Omega.m$)	Média Resistividade ($\Omega.m$)
CTL	CTL ¹	55,8	1,8	53,7 \pm 1,8
	CTL ²	52,5		
	CTL ³	52,9		
SF _{10%}	SF _{10%} ¹	260,3	16,7	279,5 \pm 16,7
	SF _{10%} ²	287,3		
	SF _{10%} ³	290,9		
Z _{10%}	Z _{10%} ¹	65,2	4,3	68,8 \pm 4,3
	Z _{10%} ²	73,5		
	Z _{10%} ³	67,6		
Z _{15%}	Z _{15%} ¹	141,5	18,2	120,6 \pm 18,2
	Z _{15%} ²	112,2		
	Z _{15%} ³	108,1		
A _{10%}	A _{10%} ¹	47,0	1,9	48,6 \pm 1,9
	A _{10%} ²	50,7		
	A _{10%} ³	48,3		
A _{15%}	A _{15%} ¹	59,0	0,5	58,4 \pm 0,5
	A _{15%} ²	58,1		
	A _{15%} ³	58,2		
Θ _{10%}	Θ _{10%} ¹	45,6	2,2	44,9 \pm 2,2
	Θ _{10%} ²	42,5		
	Θ _{10%} ³	46,7		
Θ _{15%}	Θ _{15%} ¹	61,9	2,6	61,8 \pm 2,6
	Θ _{15%} ²	64,4		
	Θ _{15%} ³	59,2		

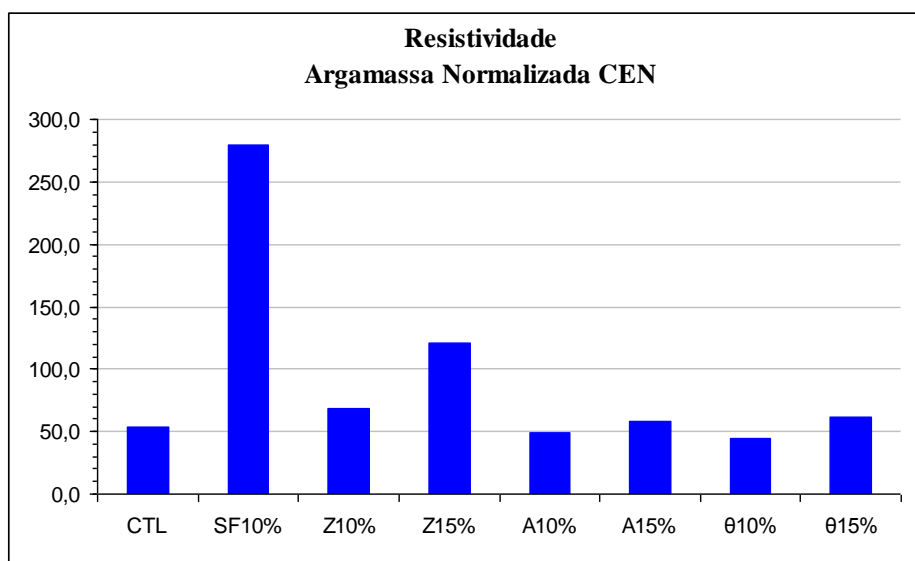


Fig.35 – Resistividade para argamassas de areia normalizada.

3.3.3.2. Argamassa leve

No caso de argamassas com agregados leves, os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 22 e na Fig.36 (os resultados numéricos apresentam-se em Anexo).

Tabela 22 – Valores de Resistividade para argamassas leves.

Provete		Resistividade (Ω.m)	Desvio Padrão Resistividade (Ω.m)	Média Resistividade (Ω.m)
CTL	CTL ¹	58,7	1,8	58,2 ± 1,8
	CTL ²	56,2		
	CTL ³	59,6		
SF _{10%}	SF _{10%} ¹	298,2	120,5	404,6 ± 120,5
	SF _{10%} ²	535,5		
	SF _{10%} ³	380,0		
E _{10%}	Z _{10%} ¹	99,2	4,1	101,9 ± 4,1
	Z _{10%} ²	99,8		
	Z _{10%} ³	106,6		
A _{10%}	A _{10%} ¹	64,9	2,5	66,7 ± 2,5
	A _{10%} ²	65,7		
	A _{10%} ³	69,5		
Θ _{10%}	θ _{10%} ¹	76,2	3,8	74,8 ± 3,8
	θ _{10%} ²	77,8		
	θ _{10%} ³	70,5		

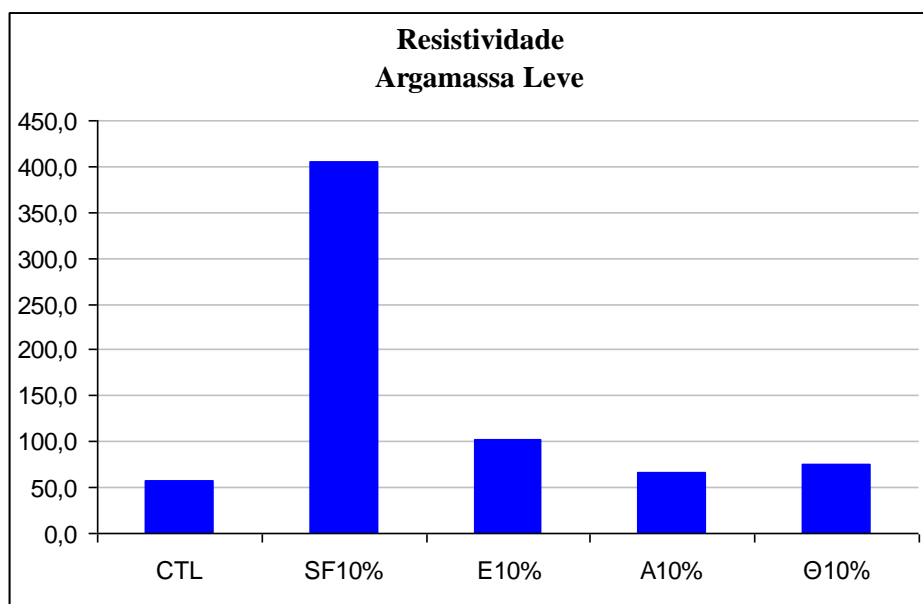


Fig.36 – Resistividade para argamassas leves.

3.3.4. ENSAIOS DE CARBONATAÇÃO

A carbonatação do betão é um fenómeno que tem uma importância vital na durabilidade de estruturas de betão armado, pois é a causa mais generalizada da deterioração de estruturas de betão armado por corrosão das armaduras. A carbonatação é um processo em que o dióxido de carbono da atmosfera, reage com os hidróxidos da fase aquosa do betão, originando um abaixamento de pH. Esta redução vai provocar a despassivação das armaduras, desprotegendo-as, podendo então ocorrer a sua corrosão (Teles, [2007]).

Para estudar este fenómeno realizou-se um ensaio de carbonatação acelerada, seguindo, na parte aplicável, a especificação do LNEC E 391 (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993b). Neste ensaio, um provete de cada tipo foi colocado, após estar 4 semanas submerso em água na câmara húmida, numa câmara de carbonatação durante dois meses, à temperatura de aproximadamente 20°C, humidade relativa de 65% e com uma concentração de CO₂ de 5% (controlados por um equipamento colocado na própria câmara). Após esse período, foi cortada uma fatia de 1cm do topo de cada provete, e pulverizada com fenolftaleína. Esta torna-se incolor nas zonas que foram afectadas pela carbonatação, enquanto que nas que se mantiveram sãs, toma uma tonalidade rosa forte, sendo assim possível medir a profundidade de carbonatação (distância média, medida em milímetros, desde a superfície do betão ou argamassa até à frente de carbonatação indicada pela fenolftaleína) (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993b).

3.3.4.1. Argamassa com areia normalizada

Os provetes, após a pulverização com a fenolftaleína, ficaram com o aspecto representado na Fig.37, tendo os seus valores de profundidade de carbonatação sido medidos, e inseridos no gráfico apresentado na Fig.38 (os valores numéricos apresentam-se em Anexo).



Fig.37 – Carbonatação dos provetes de argamassa normalizada.

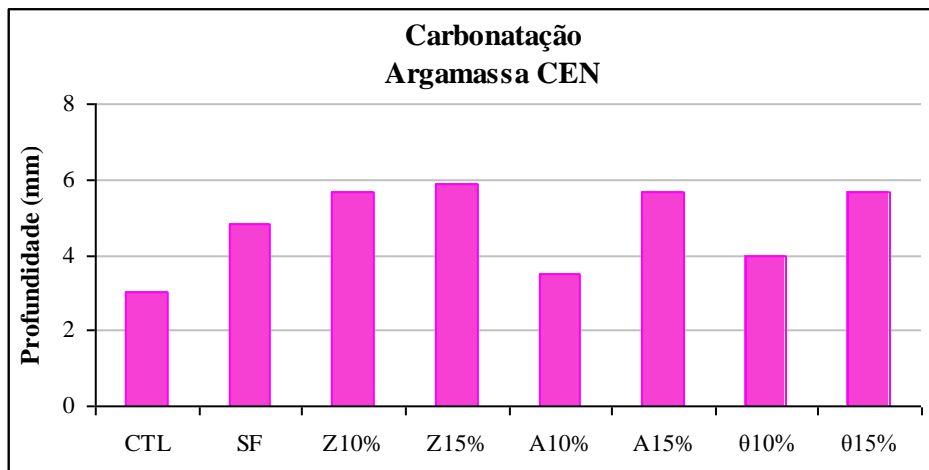


Fig.38 – Gráfico representativo da Carbonatação dos provetes de argamassa normalizada.

3.3.4.2. Argamassa leve

Os provetes, após a pulverização com a fenolftaleína, ficaram com o aspecto representado na Fig.39, tendo os seus valores de profundidade de carbonatação sido medidos e inseridos no gráfico apresentado na Fig.40 (os valores apresentam-se em Anexo).



Fig.39 – Carbonatação dos provetes de argamassa leve.

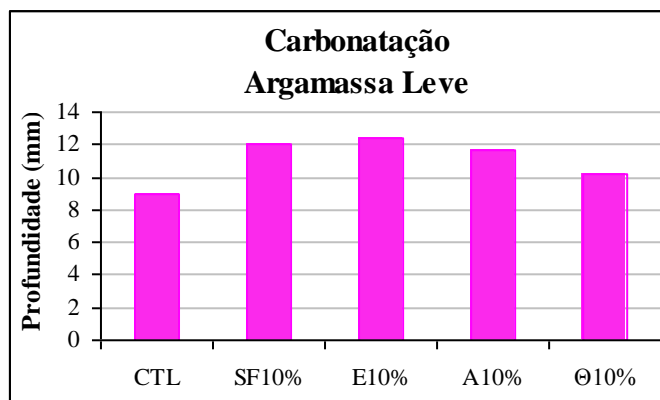


Fig.40 – Gráfico representativo da Carbonatação dos provetes de argamassa leve.

3.3.5. ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água por capilaridade é um dos principais mecanismos de penetração de água através do betão de recobrimento. A água, além de poder ser nociva à estrutura alimentando o fenómeno de corrosão, funciona também como meio de transporte de agentes agressivos nela dissolvidos.

A absorção é definida como a entrada de água na rede porosa do betão devido a forças capilares, que resultam da diferença de pressão entre a superfície livre da água no exterior do betão e a sua superfície nos poros capilares, sendo dependente do diâmetro capilar. Assim sendo, quanto menor for o coeficiente de absorção do material, mais protegida estará a estrutura.

O ensaio de absorção capilar foi realizado de acordo com a especificação E393 do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993a) na parte aplicável. Foram para este efeito necessários 3 provetes cilíndricos, com um diâmetro de 100mm, e 50mm de altura, que após terem sido fabricados, foram transferidos para uma câmara húmida, estando imersos em água, durante 8 semanas, no final das quais, se colocaram numa estufa a 40°C até que apresentassem massa constante (diferença do peso dos provetes, entre duas medições espaçadas de 24h inferior a 0,10%).

Depois de os provetes serem retirados da estufa para o ensaio, deixaram-se arrefecer, e colocaram-se dentro de um recipiente, por cima uma grelha, de modo a que a superfície inferior do provete estivesse em contacto com a água, com uma altura de água de 3 ± 1 mm a contar da base do provete. Ao longo do tempo do ensaio (4h30m), houve o cuidado de verificar que a água estivesse sempre à mesma altura da base do provete, pois esta ia sendo absorvida por capilaridade, pelo que era necessário ir acrescentando um pouco de água até ao nível requerido. Durante as 4h30m do ensaio, os provetes foram pesados em intervalos de tempo crescentes, podendo assim com esses dados traçar as curvas de absorção para os diferentes provetes (Fig.41).



Fig.41 – Pesagem dos provetes e introdução de dados.

Como a curva de absorção é quase linear nestas primeiras horas de ensaio, torna-se adequado utilizar o coeficiente de absorção, S (correspondente ao gradiente da recta obtida por regressão linear à curva de absorção – ver expressão (11)), para analisar a cinética da absorção por capilaridade.

$$A = a_0 + S.t^{0,5} \quad (11)$$

Em que:

A – Absorção de água por unidade de superfície do betão (mg/mm^2)

S – Coeficiente de absorção do material ($\text{mg}/(\text{mm}^2.\text{min}^{0,5})$)

t – Tempo passado desde do instante inicial (min)

a_0 – Água inicialmente absorvida pelos poros em contacto com a água (mg/mm^2)

3.3.5.1. Argamassa com areia normalizada

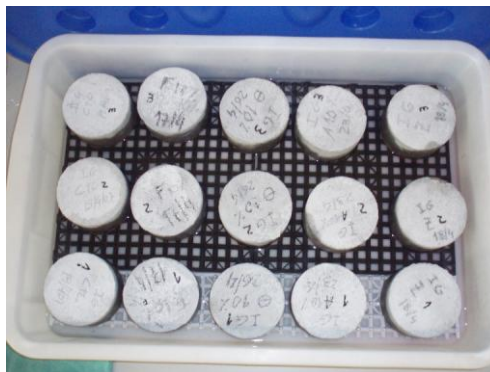


Fig.42 – Provetes de argamassa com areia normalizada CEN.

As curvas de absorção obtidas com este tipo de argamassas, de acordo com uma substituição de cimento de 10 e 15%, estão representadas nas Fig.43 e 44, e os seus correspondentes coeficientes de absorção são indicados na Tabela 23, assim como a sua média, e desvio padrão (a leitura dos dados obtidos no ensaio encontram-se em Anexo).

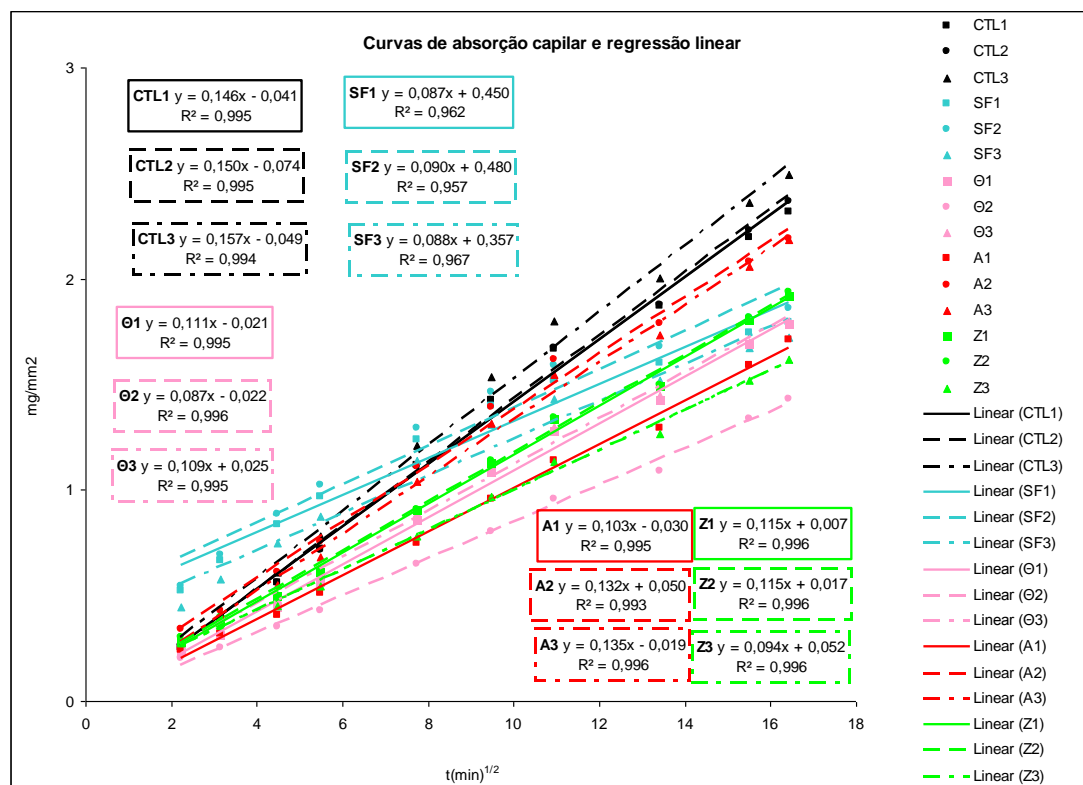


Fig.43 – Curvas de absorção capilar e rectas de regressão linear para os provetes de controlo e para a concentração de 10% em adições, da argamassa normalizada.

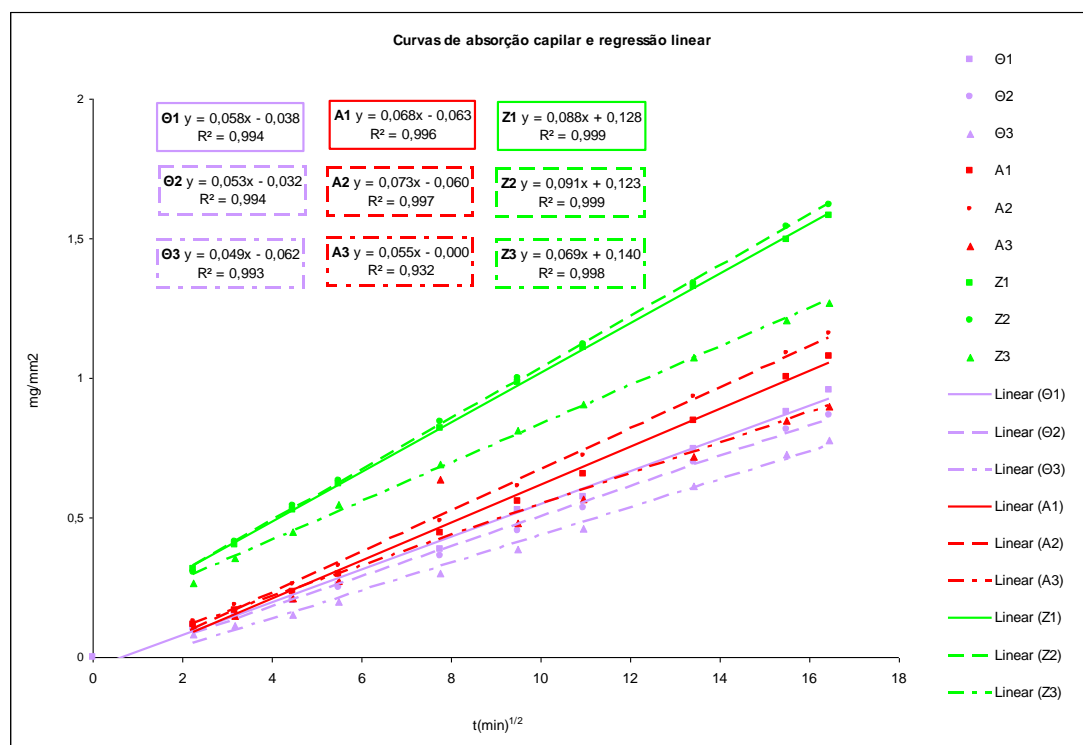


Fig.44 – Curvas de absorção capilar e rectas de regressão linear, para os provetes de concentração de 15% em adições, da argamassa normalizada.

Tabela 23 – Coeficiente de Absorção dos provetes de argamassa normalizada.

Tipo de provete	Nº de provete	S [mg/(mm ² .min ^{1/2})]	Média	Desvio Padrão
CTL	CTL ¹	0,146	0,1510	0,0056
	CTL ²	0,150		
	CTL ³	0,157		
SF_{10%}	SF _{10%} ¹	0,087	0,0883	0,0015
	SF _{10%} ²	0,090		
	SF _{10%} ³	0,088		
Z_{10%}	Z _{10%} ¹	0,115	0,1080	0,0121
	Z _{10%} ²	0,115		
	Z _{10%} ³	0,094		
Z_{15%}	Z _{15%} ¹	0,088	0,0827	0,0119
	Z _{15%} ²	0,091		
	Z _{15%} ³	0,069		
A_{10%}	A _{10%} ¹	0,103	0,1233	0,0177
	A _{10%} ²	0,132		
	A _{10%} ³	0,135		
A_{15%}	A _{15%} ¹	0,068	0,0653	0,0093
	A _{15%} ²	0,073		
	A _{15%} ³	0,055		
Θ_{10%}	Θ _{10%} ¹	0,111	0,1023	0,0133
	Θ _{10%} ²	0,087		
	Θ _{10%} ³	0,109		
Θ_{15%}	Θ _{15%} ¹	0,058	0,0533	0,0045
	Θ _{15%} ²	0,053		
	Θ _{15%} ³	0,049		

3.3.5.2. Argamassa leve

Neste ensaio foram utilizados moldes cúbicos, ao contrário do que ocorreu nas argamassas de areia normalizada, tendo este facto ocorrido devido à pouca disponibilidade de moldes cilíndricos. Foi decidido encher até meio os moldes cúbicos de 1 dm³, resultando provetes com dimensões de aproximadamente 100 x 100 x 50mm, utilizando-se um processo semelhante ao dos moldes cilíndricos, com a excepção de se substituir a compactação da argamassa com 60 pancadas após cada uma das camadas, por 15 pancadas com um pilão de madeira, mais adequado a este tipo de argamassa.



Fig.45 – Provates de argamassa leve.

As curvas de absorção obtidas com este tipo de argamassas estão representadas no Fig.46, e os correspondentes coeficientes de absorção são indicados na Tabela 24 assim como a sua média, e desvio padrão (a leitura dos dados obtidos no ensaio encontram-se em Anexo).

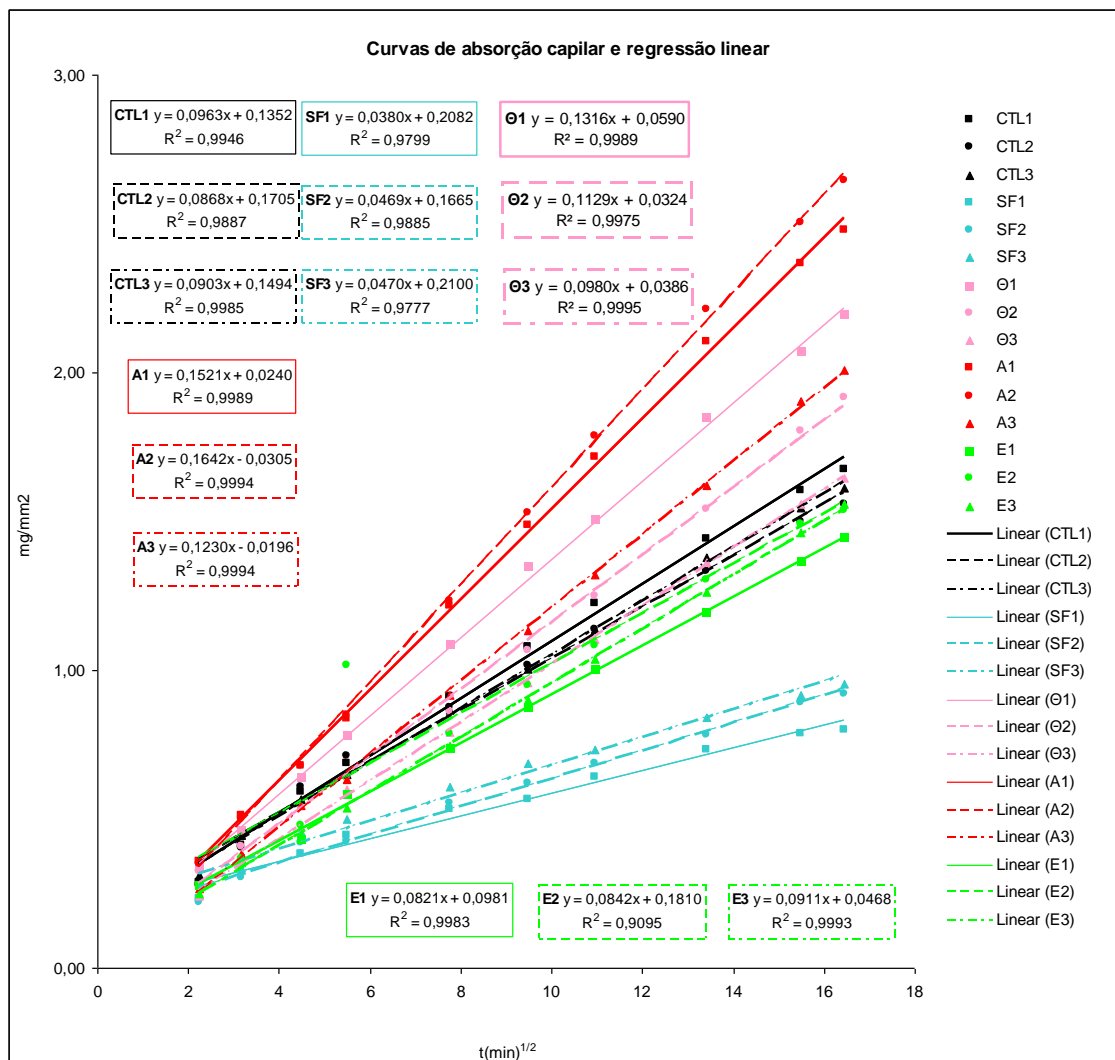


Fig.46 – Curvas de absorção capilar e rectas de regressão linear, para os provetes de controlo e para a concentração de 10% em adições, de argamassa leve.

Tabela 24 – Coeficiente de Absorção dos provetes de argamassa leve.

Tipo de provete	Nº de provete	S [mg/(mm ² .min ^{1/2})]	Média	Desvio Padrão
CTL	CTL ¹	0,096	0,0911	0,0048
	CTL ²	0,087		
	CTL ³	0,090		
SF _{10%}	SF _{10%} ¹	0,038	0,0440	0,0052
	SF _{10%} ²	0,047		
	SF _{10%} ³	0,047		
E _{10%}	Z _{10%} ¹	0,082	0,0858	0,0047
	Z _{10%} ²	0,084		
	Z _{10%} ³	0,091		
A _{10%}	A _{10%} ¹	0,152	0,1464	0,0212
	A _{10%} ²	0,164		
	A _{10%} ³	0,123		
Θ _{10%}	Θ _{10%} ¹	0,132	0,1142	0,0168
	Θ _{10%} ²	0,113		
	Θ _{10%} ³	0,098		

3.4. BIBLIOGRAFIA

ASTM C 109/90 - *ASTM Designation C109-90-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars*. [Philadelphia]:

ASTM C 230 - *ASTM Designation C230M-98-Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of hydraulic Cement*. [Philadelphia]:

Instituto Português da Qualidade - *Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados NP EN 1097-6 2003 Parte 6 determinação da massa volúmica e da absorção de água*. Caparica: IPQ, 2004.

Instituto Português da Qualidade - *Método de ensaios de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas NP EN 196-1*. Lisboa: IPQ, 1996.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - *Betões. Determinação da absorção de água por capilaridade E393*. Lisboa: LNEC, 1993a.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - *Betões. Determinação da resistência à carbonatação E391*. Lisboa: LNEC, 1993b.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - *Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por migração em regime não estacionário E463*. . Lisboa: LNEC, 2004.

Lourenço, J. ; Júlio, E.; Maranha, P. - *Betões de agregados leves de argila expandida : guia para a sua utilização*. Coimbra: Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto - APEB, 2004.

Method, Nordtest - *CONCRETE, MORTAR AND CEMENT-BASED REPAIR MATERIALS: CHLORIDE MIGRATION COEFFICIENT FROM NON-STEADY-STATE MIGRATION EXPERIMENTS NT BUILD 492*. ESPOO FINLAND: NORDTEST, 1999.

Silva, Bruno Miguel Martins - *Betão leve estrutural com agregados de argila expandida*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

Teles, Madalena - *Patologia do Betão*. [Porto]: FEUP, [2007].

4

CONCLUSÕES

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao longo deste trabalho foram caracterizadas propriedades referentes aos materiais utilizados, bem como das argamassas de areia normalizada e agregados leves, resultantes da substituição parcial do cimento por diferentes tipos de cinza de casca de arroz (RHA) e sílica de fumo (SF), de modo a determinar as potencialidades da utilização de RHA como material de substituição parcial do cimento em betão estrutural.

Mediante os resultados obtidos podemos tecer as seguintes considerações sobre as cinzas de casca de arroz utilizadas:

4.1.1. GRANULOMETRIA

Através da análise das propriedades granulométricas, que apenas foram conhecidas após o fabrico de todos os provetes do presente programa experimental podemos concluir que nenhuma das RHA utilizadas (A, Ø, E e Z) foram suficientemente moídas, podendo este ser um facto bastante relevante no desempenho deste tipo de material.

Comparando alguns valores relativos à finura dos vários tipos de RHA com as do cimento, apresentados na Tabela 25, observa-se uma grande disparidade dos valores de $d(0,1)$, $d(0,5)$ e $d(0,9)$ que indicam respectivamente que 10%, 50% e 90% das partículas medidas têm uma finura igual ou inferior ao valor da dimensão apresentada. Por exemplo, 50% das partículas são inferiores a $19,912\mu\text{m}$ para o cimento, a $63,879\mu\text{m}$ para a cinza Z, $65,934\mu\text{m}$ para a cinza A, $70,426\mu\text{m}$ para a cinza Ø e inferiores a $113,942\mu\text{m}$ para a cinza E.

Tabela 25 – Valores de $d(0,1)$, $d(0,5)$ e $d(0,9)$ em μm .

	$d(0,1)$	$d(0,5)$	$d(0,9)$
CEM I 42,5 R	2,429	19,912	55,760
RHA Z	11,622	63,879	292,941
RHA A	15,627	65,934	206,564
RHA Ø	17,287	70,426	226,242
RHA E	34,702	113,942	314,228

Por esta análise concluímos que a substituição parcial do cimento Portland por qualquer uma das cinzas de casca de arroz, implica uma diminuição da finura do ligante, pois as cinzas são mais grossas

que o cimento. Utilizando os dados do cimento como referência, podemos observar na Fig.47 e na Tabela 26 que apenas uma pequena percentagem das cinzas têm dimensões da ordem de grandeza do cimento.

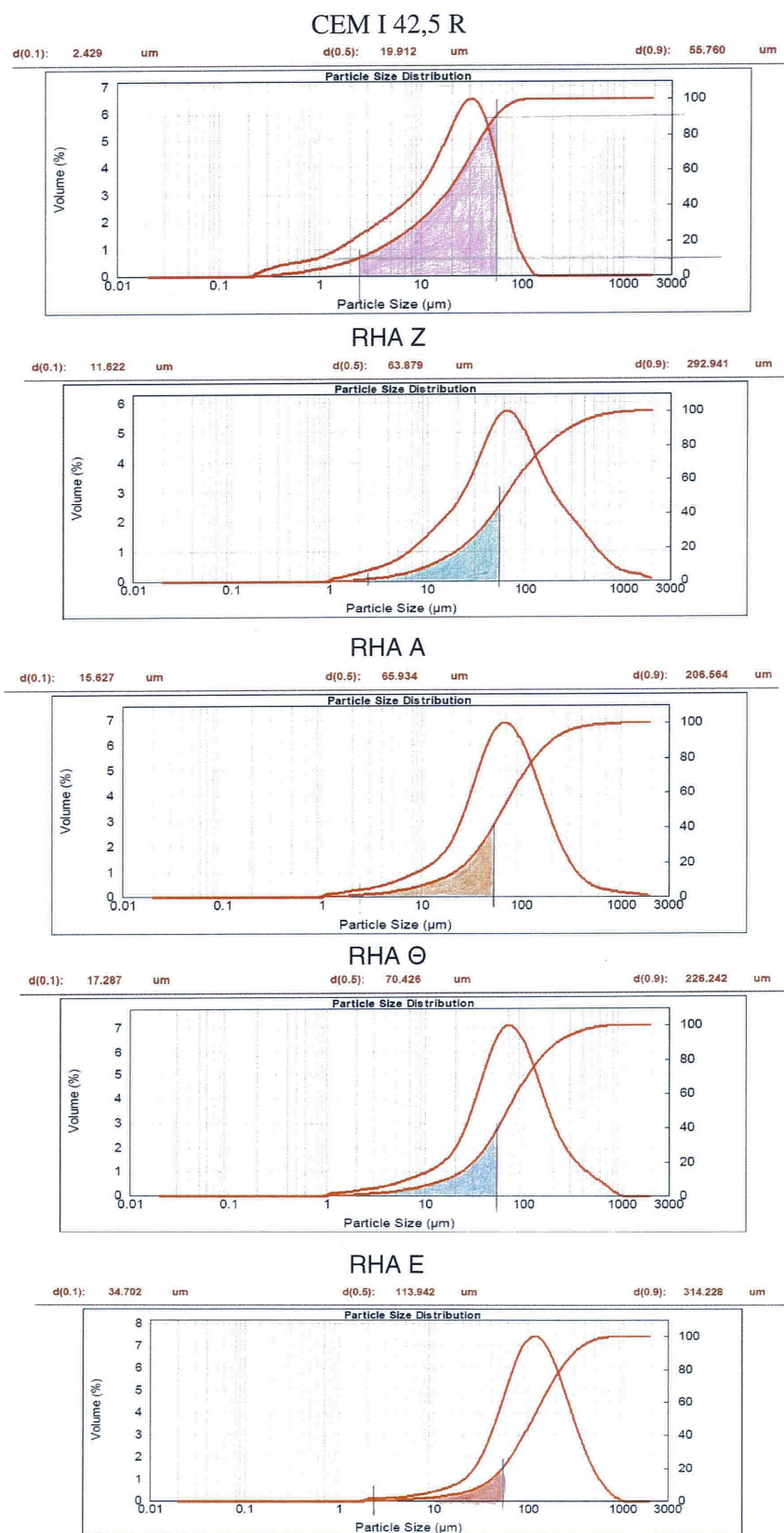


Fig.47 – Intervalo de variação [d(0.1) e d(0.9)] do cimento CEM I 42,5 R projectado nas diversas RHA's.

Tabela 26 – Percentagem de RHA que se enquadra na gama de partículas do cimento.

RHA Z	16%
RHA A	21%
RHA Ø	18%
RHA E	8%

Estas diferenças na granulometria podem ser avaliadas também pela diminuição de superfície específica, obtida no granulómetro que se apresenta na Tabela 27.

Tabela 27 – Superfície específica dos diversos materiais, obtida no granulómetro laser.

	Superfície Específica (m ² /kg)
CEM I 42,5 R	1110
RHA Z	235
RHA A	205
RHA Ø	191
RHA E	99.6

Aliás, Mehta refere que para se obterem resultados razoáveis, a RHA deve apresentar uma granulometria da ordem de 10 a 75µm. Nenhuma destas curvas se aproxima deste intervalo.

Em relação a cada propriedade analisada, apresentam-se seguidamente os resultados, em primeiro lugar para as argamassas normalizadas, e depois para as argamassas leves.

4.1.2. COMPARAÇÃO GLOBAL DOS RESULTADOS

Para ambos os tipos de argamassa, foi calculado o desempenho de cada uma das propriedades estudadas em relação aos provetes de controlo, tendo-se utilizado para o efeito a Equação 12.

$$Desempenho = \frac{X_{Sub.} - X_{CTL}}{X_{CTL}} \quad (12)$$

Em que:

$X_{Sub.}$ – Resultado da propriedade X para a argamassa com substituição de cimento por SF ou RHA.

X_{CTL} – Resultado da propriedade X para a argamassa de controlo.

De onde podemos concluir, que se o desempenho for positivo verificou-se melhoria com essa adição, caso contrário, o desempenho piorou.

4.1.2.1. Argamassa com areia normalizada

Os resultados obtidos para este tipo de argamassa estão condensados na Tabela 28, podendo-se ter uma melhor visualização dos mesmos na Fig.48.

Tabela 28 – Comparação dos resultados obtidos para as argamassas normalizadas.

		CTL	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	Θ _{10%}	Θ _{15%}	SF _{10%}
σ_{7 dias} (MPa)	Rslt.	38,74	39,28	37,06	37,06	37,52	38,59	37,06	48,69
	Melh.		1%	-4%	-4%	-3%	0%	-4%	26%
σ_{28 dias} (MPa)	Rslt.	48,03	44,66	49,87	42,52	42,88	44,56	42,57	58,80
	Melh.		-7%	4%	-11%	-11%	-7%	-11%	22%
σ_{90 dias} (MPa)	Rslt.	53,34	50,94	52,22	48,39	49,00	49,10	47,72	57,98
	Melh.		-4%	-2%	-9%	-8%	-8%	-11%	9%
S [mg/(mm².min^{1/2})]	Rslt.	0,1510	0,1080	0,0827	0,1233	0,0653	0,1023	0,0533	0,0883
	Melh.		28%	45%	18%	57%	32%	65%	42%
D_{ns} (x10⁻¹² m²/s)	Rslt.	15,31	12,71	7,07	16,32	17,62	17,24	16,59	2,44
	Melh.		17%	54%	-7%	-15%	-13%	-8%	84%
Carbonatação (mm)	Rslt.	3,00	5,67	5,88	3,50	5,67	4,00	5,67	4,83
	Melh.		-89%	-96%	-17%	-89%	-33%	-89%	-61%
Resistividade (Ω.m)	Rslt.	53,73	68,76	120,59	48,64	58,44	44,92	61,83	279,51
	Melh.		28%	124%	-9%	9%	-16%	15%	420%

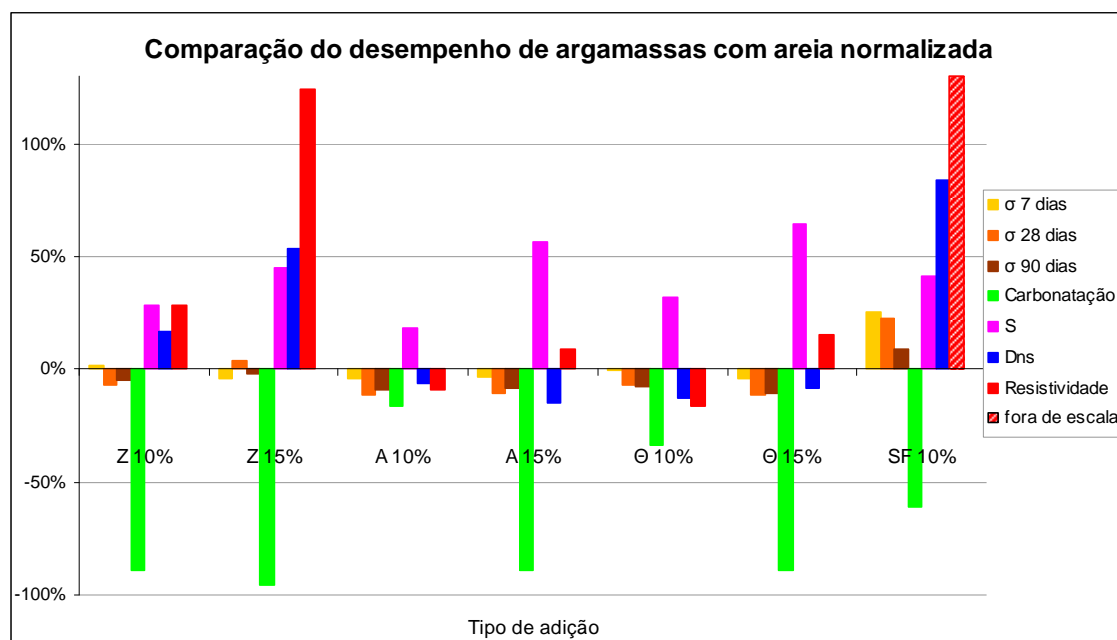


Fig.48 – Comparação do desempenho de argamassas com areia normalizada.

4.1.2.2. Argamassa leve

Do mesmo modo, os resultados obtidos para este tipo de argamassa estão condensados na Tabela 29, podendo-se ter uma melhor visualização dos mesmos na Fig.49.

Tabela 29 – Comparação dos resultados obtidos para as argamassas leves.

		CTL	E _{10%}	A _{10%}	Ø _{10%}	SF _{10%}
σ_{7 dias} (MPa)	Rslt.	28,94	26,34	27,87	27,26	28,18
	Melh.		-9%	-4%	-6%	-3%
σ_{28 dias} (MPa)	Rslt.	41,50	29,09	34,35	31,03	42,26
	Melh.		-30%	-17%	-25%	2%
σ_{90 dias} (MPa)	Rslt.	34,61	40,63	38,89	41,39	45,58
	Melh.		17%	12%	20%	32%
S [mg/(mm².min^{1/2})]	Rslt.	0,0911	0,0858	0,1464	0,1142	0,0440
	Melh.		6%	-61%	-25%	52%
D_{ns} (x10⁻¹² m²/s)	Rslt.	9,58	5,58	9,48	7,91	4,16
	Melh.		42%	1%	17%	57%
Carbonatação (mm)	Rslt.	9,00	12,38	11,67	10,25	12,00
	Melh.		-38%	-30%	-14%	-33%
Resistividade (Ω.m)	Rslt.	58,19	101,88	66,71	74,85	404,56
	Melh.		75%	15%	29%	595%

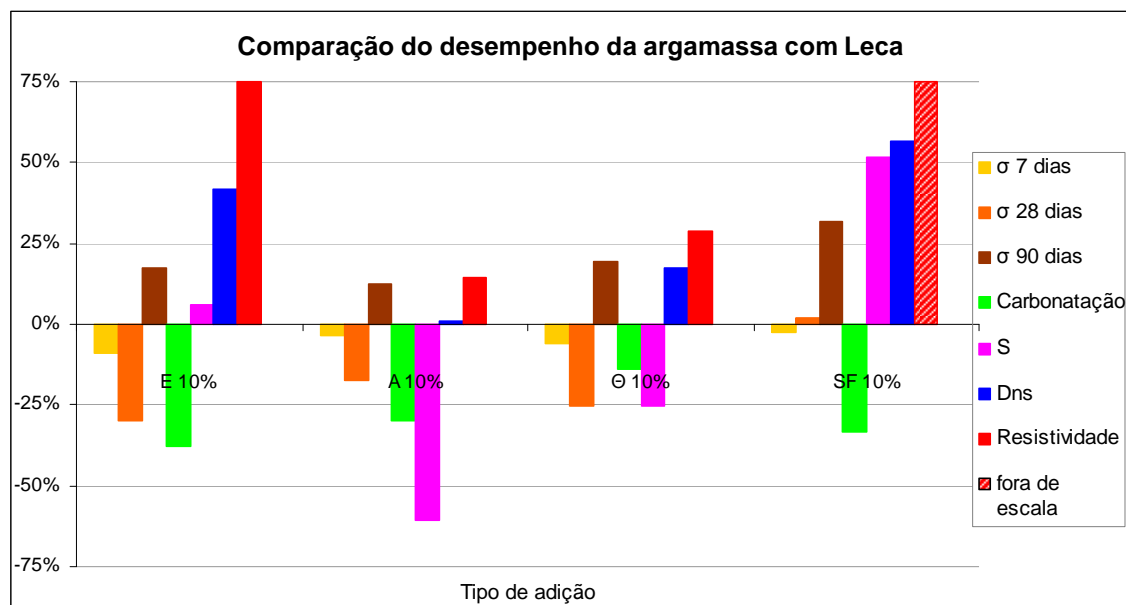


Fig.49 – Comparação do desempenho de argamassas com Leca.

4.1.3. RESISTÊNCIAS MECÂNICAS

4.1.3.1. Argamassa com areia normalizada

Analisando em termos de resistências mecânicas a Tabela 28, e tendo em vista que o comportamento da sílica de fumo corresponde a um resultado ideal, poder-se-á concluir, que apesar de as cinzas de casca de arroz corresponderem a valores inferiores aos de controlo, não diferem muito, sendo a RHA Z a que representa os melhores resultados, enquanto que os valores das RHA gregas (A e θ) encontram-se cerca de 10% abaixo dos valores de controlo. Embora para sílica de fumo se confirme um aumento rápido das resistências ao longo do tempo, parece que para as argamassas com RHA o desenvolvimento é mais lento e observando os resultados apenas aos 90 dias as diferenças são muito pequenas, mesmo em relação à sílica de fumo. Também se observa que para Z e A há uma ligeira melhoria quando se aumenta a percentagem de substituição, o que não acontece para θ .

4.1.3.2. Argamassa leve

No caso das argamassas leves, como seria de esperar, as resistências são mais baixas em relação às argamassas de areia CEN, apesar da relação água/cimento ser inferior (0,45). Note-se que é natural que o valor da resistência da argamassa de controlo (34,61MPa) aos 90 dias não corresponda à realidade, afectando assim os valores do desempenho calculados para a resistência aos 90 dias.

4.1.4. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Este parâmetro pode ser classificado para o betão segundo a Tabela 30, mas como o trabalho se refere a argamassas, poder-se-á prever que os limites apresentados serão mais elevados para as argamassas CEN. Na realidade a absorção será, em princípio, mais intensa numa argamassa relativamente a um betão semelhante, pois o agregado grosso dificultará os percursos da água através da rede porosa (Coutinho, 2007).

Tabela 30 – Coeficientes de absorção em betão (Coutinho, 2007).

Qualidade	Coeficiente de absorção
baixa	$S > 0.2 \text{ mg}/(\text{mm}^2 \times \text{min.}^{0.5})$
média	$0.1 \text{ mg}/(\text{mm}^2 \times \text{min.}^{0.5}) < S < 0.2 \text{ mg}/(\text{mm}^2 \times \text{min.}^{0.5})$
elevada	$S < 0.1 \text{ mg}/(\text{mm}^2 \times \text{min.}^{0.5})$

É de realçar no entanto, que para as argamassas com agregado leve as conclusões terão de ser cautelosas, uma vez que as próprias partículas são porosas e absorvem água. Note-se que o ensaio parte do estado seco (até massa constante), pelo que, uma vez transposta a barreira da pasta de cimento endurecida, a água será, em princípio, facilmente absorvida por cada uma das partículas leves, inicialmente no estado seco.

4.1.4.1. Argamassa com areia normalizada

Todos os provetes analisados exibiram melhores resultados do que os de controlo, e até mesmo do que a sílica de fumo, quando a percentagem de substituição foi de 15%. A argamassa de areia normalizada passa de uma qualidade média para média elevada no caso de uma substituição de 10% de RHA, e

para uma qualidade elevada quando se substitui por SF ou 15% de RHA. Isto é, a utilização de 15% de substituição do cimento por RHA tem um efeito significativo nesta propriedade.

4.1.4.2. Argamassa leve

Os resultados não foram equivalentes neste tipo de argamassas. Verificou-se que os provetes realizados com a RHA grega (A e Θ) tiveram resultados bastante inferiores aos de controlo, enquanto que com a RHA espanhola (E) a qualidade aumentou ligeiramente, mas todas as cinzas apresentaram um efeito muito aquém do ideal representado pela sílica de fumo.

4.1.5. COEFICIENTE DE DIFUSÃO APARENTE

Os valores obtidos para este parâmetro podem ser classificados para o betão de acordo com a Tabela 31. Mais uma vez, como no presente trabalho trata-se de argamassas, poder-se-á supor para as argamassas CEN, que os limites das classes apresentados serão mais altos uma vez não existirão partículas de agregado grosso a dificultar o percurso dos cloretos (Coutinho, 2007). No entanto as conclusões para a argamassa leve deverão ser cautelosas, uma vez que, as partículas de agregado leve são porosas e alguns dos poros poderão eventualmente comunicar entre si, facilitando a difusão.

Tabela 31 – Difusibilidade e resistência do betão à penetração de cloretos (Coutinho, 2007).

Resistência do betão contra a penetração de cloretos	Difusibilidade dos cloretos D_{ns} ($\times 10^{-12}$ m²/s)
baixa	> 15
moderada	10 – 15
elevada	5 – 10
muito elevada	2.5 – 5
extremamente elevada	< 2.5

4.1.5.1. Argamassa com areia normalizada

Neste tipo de argamassas, a qualidade da argamassa de controlo em termos de difusão é baixa, mas passa a moderada quando se utiliza 10% da cinza portuguesa (Z) e até atinge qualidade elevada para 15% de substituição, embora ainda se distancie bastante da situação ideal demonstrada pela SF, cuja qualidade é extremamente elevada. Para as argamassas com A e Θ , a qualidade piora em relação à de controlo. De facto, as cinzas A e Θ , como se verificou posteriormente pelas granulometrias laser, são constituídas por grãos muito grosseiros e portanto criam porosidades e capilaridades na pasta de cimento.

4.1.5.2. Argamassa leve

Comparando os resultados, verifica-se que, partindo de uma argamassa de controlo de qualidade moderada, a qualidade da argamassa com RHA E classifica-se como sendo elevada, tendo esta um coeficiente de difusão muito próximo da argamassa com SF. Os provetes com RHA gregas apresentam resultados semelhantes às da argamassa de controlo, isto é, não acarretam melhorias, como inicialmente previsto. Este facto, como já referido, pode ser explicado pela finura insuficiente destes materiais.

4.1.6. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

4.1.6.1. Argamassa com areia normalizada

Os resultados obtidos foram aquém do esperado. Como se conhece agora a granulometria das adições usadas, e se sabe que são materiais mais grosseiros do que o cimento utilizado, a carbonatação do betão é mais rápida nas argamassas com essas adições. De facto, por um lado, a rede porosa é mais grosseira, difundindo-se o CO_2 facilmente, e pelo outro, como as adições consomem Ca(OH)_2 , a quantidade disponível é menor nas argamassas com estas adições, propiciando uma carbonatação mais acelerada. Quando as adições são mais finas que o cimento, e em geral devem sê-lo, o efeito físico do refinamento dos poros pode sobrepor-se ao efeito da diminuição de Ca(OH)_2 , sobretudo para razões água cimento reduzidas onde os poros já são, à partida, mais finos. De qualquer modo, nos casos estudados neste trabalho, a carbonatação foi sempre superior à argamassa de controlo, mesmo para as argamassas com sílica de fumo.

4.1.6.2. Argamassa leve

Para estas argamassas os resultados foram todos equivalentes, embora para a RHA Θ , que tendo sido ligeiramente menor, mesmo assim não apresentou um resultado satisfatório, estando estes resultados explicados pelos motivos acima referidos.

4.1.7. RESISTIVIDADE ELÉCTRICA

4.1.7.1. Argamassa com areia normalizada

Neste tipo de argamassas, a resistividade da argamassa com 15% de RHA Z provou ser muito superior à de controlo, mas ainda bastante aquém do valor obtido para a argamassa ideal (SF). Todos os outros resultados são da mesma ordem de grandeza da de controlo.

4.1.7.2. Argamassa leve

Nas argamassas leves, todas as RHA apresentam resistividades mais elevadas que a de controlo, e portanto uma melhor qualidade, com a RHA E a destacar-se, mas ainda muito abaixo da resistividade da argamassa com SF.

4.2. CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho foram muito inferiores ao esperado. Contudo, procurando analisar os resultados em termos globais para cada tipo de argamassa, verifica-se que para as argamassas de areia normalizada e tendo presente a Tabela 28 e Fig.48, como as resistências são da mesma ordem de grandeza comparadas com as de controlo poder-se-á analisar apenas os aspectos relacionados com a durabilidade. Em relação à carbonatação, como referido anteriormente, todos os resultados foram negativos quando utilizadas os vários tipos de cinza de casca de arroz e também a sílica de fumo. Considerando as restantes propriedades poder-se-á concluir que para as argamassas de areia normalizada a RHA portuguesa Z, é a que apresenta melhores resultados especialmente para uma substituição de 15%. Examinando agora as argamassas de agregado leve e a Tabela 29 e Fig.49 e fazendo uma análise semelhante conclui-se que a cinza espanhola RHA E é a que apresenta melhores resultados.

Como referido anteriormente, vários estudos têm descrito a cinza de casca de arroz como um material pozolânico com elevado potencial em termos de aplicabilidade como adição em betão. Sabe-se também que a sua eficácia depende do processo de queima e de moagem. De facto, a queima tem de ser realizada de um modo controlado, não só para que resulte um teor de carbono baixo, mas sobretudo para que daí resulte uma grande quantidade de sílica amorfa, que de outro modo passaria à sua forma cristalina e por isso seria menos reactiva. A moagem é também importante, sobretudo se a quantidade de sílica amorfa não é muito elevada.

Como descrito, não há informação sobre o processo de queima de nenhuma das cinzas utilizadas. Relativamente à finura, apenas foi possível obter informação sobre a granulometria de cada cinza quando o programa de ensaios estava em curso (laser). Constatou-se então, como referido, que a causa do insucesso foi devida à moagem insuficiente das cinzas utilizadas, embora as cinzas portuguesa e espanhola tenham apresentado resultados satisfatórios e possam portanto ser utilizadas em betão, contribuindo assim para a sustentabilidade na construção.

4.3. TRABALHOS FUTUROS

Com base neste trabalho, podemos ter em conta que, para além da queima controlada, um dos pontos mais importantes a ser considerado em trabalhos futuros é o controlo da finura dos materiais, para que o seu desempenho seja máximo quando utilizado como substituto parcial do cimento Portland.

4.4. BIBLIOGRAFIA

Coutinho, J. Sousa – *CINZA DE CASCA DE ARROZ (RHA) INDUSTRIAL – ENSAIOS*. Porto: FEUP, 2007.

ANEXOS

Espalhamento das argamassas com areia normalizada.

Amassadura	CTL	SF_{10%}	Z_{10%}	Z_{15%}	A_{10%}	A_{15%}	Θ_{10%}	Θ_{15%}
1	206,3	201,0	204,0	225,7	212,3	202,3	203,0	199,0
2	214,3	207,3	216,0	213,0	209,7	202,7	204,0	207,7
3	208,7	211,7	212,7	207,7	200,7	213,7	201,0	206,7
4	215,3	210,0	213,3	209,0	199,7	213,7	199,7	201,0
5	209,7	212,7	213,3	210,0	204,7	207,3	206,3	202,0
6	206,3	212,3	209,7	201,0	199,7	213,7	201,7	212,3
7	211,0	215,7	210,3	204,3	203,7	214,0	207,3	214,0
Média (mm)	210.2 ± 3.6	210.1 ± 4.8	211.3 ± 3.8	210.1 ± 7.9	204.4 ± 5.0	209.6 ± 5.4	203.3 ± 2.8	206.1 ± 5.7
Diâmetro médio (mm)	210,2	210,1	211,3	210,1	204,4	209,6	203,3	206,1
Desvio padrão (mm)	3,6	4,8	3,8	7,9	5,0	5,4	2,8	5,7

Espalhamento das argamassas leves.

Amassadura	CTL	SF10%	E10%	A10%	Θ10%
1	218,0	222,0	224,7	224,7	223,7
2	214,7	211,0	222,7	223,0	221,7
3	212,3	210,0	225,3	209,3	210,3
4	221,7	213,7	218,0	218,3	216,7
5	221,7	213,0	210,7	219,0	209,3
Média (mm)	217.7 ± 4.2	213.9 ± 4.7	220.3 ± 6.1	218.9 ± 6.0	216.3 ± 6.5
Diâmetro médio (mm)	217,7	213,9	220,3	218,9	216,3
Desvio padrão (mm)	4,2	4,7	6,1	6,0	6,5

Valores dos ensaios de Resistências Mecânicas para as argamassas com areia normalizada.

* Resistência aos 7 dias.

		CTL	SF _{10%}	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	Θ _{10%}	Θ _{15%}
Peso (g)	Valores obtidos	595,6	589,2	562,2	580,7	580,7	579,8	566,8	574,3
		603,0	581,7	565,1	582,4	573,7	578,8	572,5	577,0
	Média	599.3 ± 5.2	585.5 ± 5.3	563,7 ± 2.1	581.6 ± 1.2	577.2 ± 4.9	579.3 ± 0.7	569.7 ± 4.0	575.7 ± 1.9
Resistência Flexão (Kg)	Valores obtidos	335	335	275	280	325	320	295	295
		290	345	275	275	290	340	290	300
	Média	312.5 ± 31.8	340.0 ± 7.1	275.0 ± 0.0	277.5 ± 3.5	307.5 ± 24.7	330.0 ± 14.1	292.5 ± 3.5	297.5 ± 3.5
Resistência Flexão (MPa)	Média	7.18 ± 0.73	7.81 ± 0.16	6.32 ± 0.00	6.37 ± 0.08	7.06 ± 0.57	7.58 ± 0.32	6.72 ± 0.08	6.83 ± 0.08
Resistência Compressão (Kg)	Valores obtidos	6800	8300	6400	6250	6150	6100	6500	6100
		6900	8300	6550	6250	6000	6150	6100	5900
		5700	7500	6300	5600	6000	5950	6300	6100
		5900	7700	6400	6100	6050	6300	6300	6100
	Média	6325 ± 613	7950 ± 412	6413 ± 103	6050 ± 308	6050 ± 71	6125 ± 144	6300 ± 163	6050 ± 100
Resistência Compressão (Mpa)	Média	38.74 ± 14.08	48.69 ± 9.47	39.28 ± 2.37	37.06 ± 7.08	37.06 ± 1.62	37.52 ± 3.32	39.59 ± 3.75	37.06 ± 2.30

* Resistências aos 28 dias.

		CTL	SF _{10%}	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	Θ _{10%}	Θ _{15%}
Peso (g)	Valores obtidos	609,0	591,6	586,2	577,3	610,5	575,0	604,3	562,2
		604,1	597,8	586,6	580,5	615,4	566,3	596,5	562,5
		607,8	595,1	588,2	584,1	611,1	570,7	597,6	564,2
	Média	607.0 ± 2.6	594.8 ± 3.1	587.0 ± 1.1	580.6 ± 3.4	612.3 ± 2.7	570.7 ± 4.4	599.5 ± 4.2	563.0 ± 1.1
Resistência Flexão (Kg)	Valores obtidos	435	465	335	305	360	315	375	275
		360	510	345	300	360	305	365	315
		410	375	375	285	380	320	250	305
	Média	401.7 ± 38.2	450.0 ± 68.7	351.7 ± 20.8	296.7 ± 10.4	366.7 ± 11.5	313.3 ± 7.6	330.0 ± 69.5	298.3 ± 20.8
Resistência Flexão (MPa)	Média	9.23 ± 0.88	10.34 ± 1.58	8.08 ± 0.48	6.81 ± 0.24	8.42 ± 0.27	7.20 ± 0.18	7.58 ± 1.60	6.85 ± 0.48
Resistência Compressão (Kg)	Valores obtidos	7700	8950	7000	8350	7050	6900	7800	7200
		7200	7100	8300	8300	6900	7000	7300	7100
		7800	10500	7400	8000	6800	7000	7500	6750
		8000	10050	6900	8000	7400	7000	6950	6600
		8550	10300	6800	8050	7100	7100	7300	7000
		7800	10700	7350	8150	6400	7000	6800	7050
	Média	7842 ± 439	9600 ± 1370	7292 ± 550	8142 ± 153	6942 ± 335	7000 ± 63	7275 ± 363	6950 ± 228
Resistência Compressão (Mpa)	Média	48.03 ± 10.08	58.80 ± 31.47	44.66 ± 12.63	49.87 ± 3.51	42.52 ± 7.70	42.88 ± 1.45	44.56 ± 8.34	42.57 ± 5.24

* Resistências aos 90 dias.

		CTL	SF _{10%}	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	Θ _{10%}	Θ _{15%}
Peso (g)	Valores obtidos	611,3	596,1	588,5	571,3	607,9	582,5	601,9	575,1
		616,9	589,7	595,7	575,6	601,1	589,3	596,6	576,8
		613,7	590,0	597,7	574,9	600,3	583,2	602,3	575,9
	Média	640.0 ± 2.8	591.9 ± 3.6	594.0 ± 4.8	573.9 ± 2.3	603.1 ± 4.2	585.0 ± 3,7	600.3 ± 3.2	575.9 ± 0.9
Resistência Flexão (Kg)	Valores obtidos	385	465	310	310	370	370	360	360
		410	470	375	320	385	365	360	340
		415	450	390	320	420	365	370	375
	Média	403.3 ± 16.1	461.7 ± 10.4	358.3 ± 42.5	316.7 ± 5.8	391.7 ± 25.7	366.7 ± 2.9	363.3 ± 5.8	358.3 ± 17.6
Resistência Flexão (MPa)	Média	9.26 ± 0.37	10.60 ± 0.24	8.23 ± 0.98	7.27 ± 0.13	9.00 ± 0.59	8.42 ± 0.07	8.35 ± 0.13	8.23 ± 0.40
Resistência Compressão (Kg)	Valores obtidos	8800	10500	8000	8700	8150	8100	8200	7650
		8600	10000	8250	8650	8000	7800	7800	7900
		8400	8900	8600	8650	7800	8050	7900	7950
		8800	8900	8900	8200	7900	8150	8100	7600
		8700	9000	8000	8500	7650	7800	8000	7950
		8950	9500	8150	8450	7900	8100	8100	7700
	Média	8708 ± 191	9467 ± 665	8317 ± 361	8525 ± 186	7900 ± 170	8000 ± 158	8017 ± 147	7792 ± 159
Resistência Compressão (Mpa)	Média	53.34 ± 4.38	57.98 ± 15.28	50.94 ± 8.30	52.22 ± 4.28	48.39 ± 3.91	49.00 ± 3.63	49.10 ± 3.38	47.72 ± 3.66

* Comparação de Resistências aos 7, 28 e 90 dias.

		CTL	SF _{10%}	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	Θ _{10%}	Θ _{15%}
7 dias	Rst.Flexão	7,18	7,81	6,32	6,37	7,06	7,58	6,72	6,83
	Rst.Compr.	38,74	48,69	39,28	37,06	37,06	37,52	38,59	37,06
28 dias	Rst.Flexão	9,23	10,34	8,08	6,81	8,42	7,20	7,58	6,85
	Rst.Compr.	48,03	58,80	44,66	49,87	42,52	42,88	44,56	42,57
90 dias	Rst.Flexão	9,26	10,60	8,23	7,27	9,00	8,42	8,35	8,23
	Rst.Compr.	53,34	57,98	50,94	52,22	48,39	49,00	49,10	47,72

Valores dos ensaios de Resistências Mecânicas para as argamassas leves.

* Resistência aos 7 dias.

		CTL	SF _{10%}	E _{10%}	A _{10%}	Θ _{10%}
Peso (g)	Valores obtidos	406,6	394,7	402,5	399,5	413,4
		415,8	388,0	396,4	394,4	425,2
	Média	411.2 ± 6.5	391.3 ± 4.8	399.4 ± 4.4	396.9 ± 3.6	419.3 ± 8.3
Resistência Flexão (Kg)	Valores obtidos	205	240	180	165	160
		215	195	175	160	150
	Média	310.0 ± 7.1	217.5 ± 31.8	177.5 ± 3.5	162.5 ± 3.5	155.0 ± 7.1
Resistência Flexão (MPa)	Média	3.22 ± 0.16	3.33 ± 0.73	2.72 ± 0.08	2.49 ± 0.08	2.37 ± 0.16
Resistência Compressão (Kg)	Valores obtidos	5000	5000	4600	4200	4400
		4800	4300	4400	4700	4300
		4600	4200	4200	4900	4600
		4500	4900	4000	4400	4500
	Média	4725 ± 222	4600 ± 408	4300 ± 258	4550 ± 311	4450 ± 129
Resistência Compressão (Mpa)	Média	28.94 ± 5.09	28.18 ± 9.38	26.34 ± 5.93	27.87 ± 7.14	27.26 ± 2.97

* Resistências aos 28 dias.

		CTL	SF _{10%}	E _{10%}	A _{10%}	Θ _{10%}
Peso (g)	Valores obtidos	429,88	418,69	393,09	415,57	430,47
		434,85	422,70	395,17	417,10	424,96
		433,06	419,92	397,18	426,10	422,51
	Média	432.6 ± 2.5	420.4 ± 2.1	395.1 ± 2.0	419.6 ± 5.7	426.0 ± 4.1
Resistência Flexão (Kg)	Valores obtidos	215,00	230,00	150,00	200,00	245,00
		220,00	265,00	140,00	230,00	260,00
		250,00	250,00	155,00	215,00	170,00
	Média	228.3 ± 18.9	248.3 ± 17.6	148.3 ± 7.6	215.0 ± 15.0	225.0 ± 48.2
Resistência Flexão (MPa)	Média	5.24 ± 0.43	5.70 ± 0.40	3.41 ± 0.18	4.94 ± 0.34	5.17 ± 1.11
Resistência Compressão (Kg)	Valores obtidos	6500,00	7500,00	4500,00	5600,00	5900,00
		6500,00		4500,00	4950,00	5600,00
		7100,00	7400,00	5000,00	5600,00	3400,00
		7550,00	7400,00	4900,00	5500,00	4600,00
		6600,00	6100,00	4700,00	6300,00	5200,00
		6400,00	6100,00	4900,00	5700,00	5700,00
	Média	6775 ± 454	6900 ± 731	4750 ± 217	5608 ± 432	5067 ± 937
Resistência Compressão (Mpa)	Média	41.50 ± 10.42	42.26 ± 16.80	29.09 ± 4.98	34.35 ± 9.92	31.03 ± 21.53

* Resistências aos 90 dias.

		CTL	SF _{10%}	E _{10%}	A _{10%}	Θ _{10%}
Peso (g)	Valores obtidos	400,9	395,2	424,6	430,9	422,9
		407,5	401,6	419,3	418,3	423,7
		398,2	398,4	424,6	420,7	427,6
	Média	402.2 ± 4.8	398.4 ± 3.2	422.8 ± 3.1	423.3 ± 6.7	424.7 ± 2.5
Resistência Flexão (Kg)	Valores obtidos	245	240	260	225	245
		245	195	255	225	240
		210	225	255	275	230
	Média	233.3 ± 20.2	220.0 ± 22.9	256.7 ± 2.9	241.7 ± 28.9	238.3 ± 7.6
Resistência Flexão (MPa)	Média	5.36 ± 0.46	5.05 ± 0.53	5.90 ± 0.07	5.55 ± 0.66	5.47 ± 0.18
Resistência Compressão (Kg)	Valores obtidos	4200	7300	7200	6400	6600
		5600	7300	8100	6700	6800
		6100	7600	6300	5400	5900
		5500	7700	7100	6700	6400
		5900	7100	6400	6700	7400
		6600	7650	4700	6200	7450
	Média	5650 ± 812	7442 ± 242	6633 ± 1148	6350 ± 509	6758 ± 597
Resistência Compressão (Mpa)	Média	34.61 ± 18.65	45.58 ± 5.55	40.63 ± 26.38	38.89 ± 11.69	41.39 ± 13.71

* Comparação de Resistências aos 7, 28 e 90 dias.

		CTL	SF _{10%}	E _{10%}	A _{10%}	Θ _{10%}
7 dias	Rst.Flexão	3,22	3,33	2,72	2,49	2,37
	Rst.Compr.	28,94	28,18	26,34	27,87	27,26
28 dias	Rst.Flexão	5,24	5,70	3,41	4,94	5,17
	Rst.Compr.	41,50	42,26	29,09	34,35	31,03
90 dias	Rst.Flexão	5,36	5,05	5,90	5,55	5,47
	Rst.Compr.	34,61	45,58	40,63	38,89	41,39

Valores dos ensaios de Penetração dos Cloretos para as argamassas com areia normalizada.

Provetes		Profundidade de Penetração dos cloretos (mm)								D _{ns} (m ² /s)		Carga Total Coulomb	T inicial °C	T final °C	tempo h	Voltagem
		1	2	3	4	5	6	7	Média	Valores	Média					
CTL	CTL ¹	30	30	28	30	38	30	30	30,86	14,83	15,3 ± 0,50	8394	27	27	24	30
	CTL ²	33	34	34	36	33	30	28	32,57	15,82		8776	29	30	24	30
	CTL ³	30	31	32	30	32	32	34	31,57	15,29		9497	29	29	24	30
SF _{10%}	SF _{10%} ¹	6	5	5	5	5	7	10	6,14	2,53	2,4 ± 0,22	1517	24	24	24	30
	SF _{10%} ²	6	7	6	6	5	6	8	6,29	2,59		1344	24	24	24	30
	SF _{10%} ³	6	5	5	6	6	5	5	5,43	2,19		1339	23	24	24	30
Z _{10%}	Z _{10%} ¹	27	27	25	26	26	26	26	26,14	12,41	12,7 ± 0,73	7013	23	29	24	30
	Z _{10%} ²	27	29	27	24	25	26	22	25,71	12,19		5699	23	29	24	30
	Z _{10%} ³	32	29	27	28	26	30	26	28,29	13,55		6544	26	29	24	30
Z _{15%}	Z _{15%} ¹	12	12	11	11	10	12	11	11,29	5,02	7,1 ± 1,88	2734	25	27	24	30
	Z _{15%} ²	18	19	18	18	20	19	19	18,71	8,73		3756	26	29	24	30
	Z _{15%} ³	16	17	16	15	16	16	17	16,14	7,45		4042	27	29	24	30
A _{10%}	A _{10%} ¹	25	29	31	34	34	32	32	31,00	14,97	16,3 ± 1,35	8674	27	30	24	30
	A _{10%} ²	35	38	38	35	35	36	36	36,14	17,68		7621	27	33	24	30
	A _{10%} ³	33	36	34	35	34	32	32	33,71	16,31		8431	24	31	24	30
A _{15%}	A _{15%} ¹	37	37	36	37	36	35	35	36,14	17,68	17,6 ± 0,70	7937	26	34	24	30
	A _{15%} ²	38	38	39	37	36	37	37	37,43	18,28		8237	25	33	24	30
	A _{15%} ³	31	34	34	34	37	36	37	34,71	16,89		8191	25	33	24	30
Θ _{10%}	Θ _{10%} ¹	41	40	40	40	37	35	33	38,00	18,61	17,2 ± 1,19	8928	26	33	24	30
	Θ _{10%} ²	30	32	35	37	35	35	35	34,14	16,58		9598	25	32	24	30
	Θ _{10%} ³	36	34	36	35	34	34	30	34,14	16,52		9149	24	31	24	30
Θ _{15%}	Θ _{15%} ¹	31	33	34	34	38	34	36	34,29	16,62	16,6 ± 0,72	7415	25	31	24	30
	Θ _{15%} ²	30	31	34	33	33	35	33	32,71	15,85		7237	25	32	24	30
	Θ _{15%} ³	36	36	36	36	36	34	34	35,43	17,29		8058	26	33	24	30

Valores dos ensaios de Penetração dos Cloretos para as argamassas leves.

Provetes		Profundidade de Penetração dos cloretos (mm)							D _{ns} (m²/s)		Carga Total Coulomb	T inicial °C	T final °C	Tempo h	Voltagem	
		1	2	3	4	5	7	Média	Valores	Média						
CTL	CTL ¹	19,5	18,5	18	19	21,5	25	24	20,79	9,61	9,58 ± 0,75	8394	27	27	24	30
	CTL ²	20,5	20,5	21,5	22	25	23	23	22,21	10,30		8776	29	30	24	30
	CTL ³	20	18	20,5	19	19,5	18	19,5	19,21	8,81		9497	29	29	24	30
SF _{10%}	SF _{10%} ¹	8	14	11,5	10,5	8	9	7,5	9,79	4,19	4,16 ± 1,24	1517	24	24	24	30
	SF _{10%} ²	14	17	17	12	9	8,5	8,5	12,29	5,38		1344	24	24	24	30
	SF _{10%} ³	7,5	7,5	7	5,5	7,5	7,5	6,5	7,00	2,90		1339	23	24	24	30
E _{10%}	E _{10%} ¹	12	13,5	13,5	14,5	13,5	12	11,5	12,93	5,71	5,58 ± 0,13	7013	23	29	24	30
	E _{10%} ²	11	12,5	14	14	12,5	12	12,5	12,64	5,58		5699	23	29	24	30
	E _{10%} ³	12	12,5	13,5	13	14	12	9,5	12,36	5,45		6544	26	29	24	30
A _{10%}	A _{10%} ¹	20	20	20,5	20	21,5	19	15,5	19,50	8,98	9,48 ± 0,50	8674	27	30	24	30
	A _{10%} ²	20,5	20	21	21,5	21	19	20,5	20,50	9,49		7621	27	33	24	30
	A _{10%} ³	19,5	21,5	22	22,5	25	19,5	20,5	21,50	9,98		8431	24	31	24	30
Θ _{10%}	Θ _{10%} ¹	18	19	20	18	18	17,5	18,5	18,43	8,44	7,91 ± 0,56	8928	26	33	24	30
	Θ _{10%} ²	17	17	17,5	17,5	17,5	17	16,5	17,14	7,97		9598	25	32	24	30
	Θ _{10%} ³	16	17,5	18,5	18	19	16	8,5	16,21	7,33		9149	24	31	24	30

Valores dos ensaios de resistividade para as argamassas com areia normalizada.

Provete		I inicial (mA)	Resistividade ($\Omega.m$)	Desvio Padrão Resistividade ($\Omega.m$)	Média Resistividade ($\Omega.m$)
CTL	CTL ¹	84,4	55,8	1,8	53,7 \pm 1,8
	CTL ²	89,8	52,5		
	CTL ³	89,1	52,9		
SF _{10%}	SF ¹ _{10%}	18,1	260,3	16,7	279,5 \pm 16,7
	SF ² _{10%}	16,4	287,3		
	SF ³ _{10%}	16,2	290,9		
Z _{10%}	Z ¹ _{10%}	72,3	65,2	4,3	68,8 \pm 4,3
	Z ² _{10%}	64,1	73,5		
	Z ³ _{10%}	69,7	67,6		
Z _{15%}	Z ¹ _{15%}	33,3	141,5	18,2	120,6 \pm 18,2
	Z ² _{15%}	42	112,2		
	Z ³ _{15%}	43,6	108,1		
A _{10%}	A ¹ _{10%}	100,3	47,0	1,9	48,6 \pm 1,9
	A ² _{10%}	93	50,7		
	A ³ _{10%}	97,6	48,3		
A _{15%}	A ¹ _{15%}	79,9	59,0	0,5	58,4 \pm 0,5
	A ² _{15%}	81,1	58,1		
	A ³ _{15%}	80,9	58,2		
Θ _{10%}	θ ¹ _{10%}	103,3	45,6	2,2	44,9 \pm 2,2
	θ ² _{10%}	111	42,5		
	θ ³ _{10%}	100,9	46,7		
Θ _{15%}	θ ¹ _{15%}	76,1	61,9	2,6	61,8 \pm 2,6
	θ ² _{15%}	73,2	64,4		
	θ ³ _{15%}	79,6	59,2		

Valores dos ensaios de resistividade para as argamassas leves.

Provete		I inicial (mA)	Resistividade (Ω.m)	Desvio Padrão Resistividade (Ω.m)	Média Resistividade (Ω.m)
CTL	CTL ¹	80,3	58,7	1,8	58,2 ± 1,8
	CTL ²	83,8	56,2		
	CTL ³	79	59,6		
SF _{10%}	SF ¹ _{10%}	15,8	298,2	120,5	404,6 ± 120,5
	SF ² _{10%}	8,8	535,5		
	SF ³ _{10%}	12,4	380,0		
E _{10%}	Z ¹ _{10%}	47,5	99,2	4,1	101,9 ± 4,1
	Z ² _{10%}	47,2	99,8		
	Z ³ _{10%}	44,2	106,6		
A _{10%}	A ¹ _{10%}	72,6	64,9	2,5	66,7 ± 2,5
	A ² _{10%}	71,7	65,7		
	A ³ _{10%}	67,8	69,5		
Θ _{10%}	θ ¹ _{10%}	61,8	76,2	3,8	74,8 ± 3,8
	θ ² _{10%}	60,6	77,8		
	θ ³ _{10%}	66,8	70,5		

Leitura da massa dos provetes no ensaio de absorção de água por capilaridade para as argamassas com areia normalizada.

Proвете	Forma	Área base (mm ²)	Peso dos provetes (g) ao longo do tempo de absorção (min.)										
			Peso Seco	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270
CTL	1	Cilindro 7853,98	894,93	896,94	897,91	899,34	900,58	903,71	906,13	908,05	909,63	912,18	913,15
	2		891,94	894,01	894,92	896,33	897,57	900,68	903,12	905,07	906,70	909,46	910,54
	3		899,17	901,45	902,45	903,98	905,30	908,66	911,23	913,30	914,91	917,71	918,74
SF _{10%}	1	Cilindro 7853,98	882,59	886,71	887,81	889,17	890,19	892,30	893,59	894,52	895,17	896,31	896,69
	2		880,14	884,41	885,59	887,12	888,20	890,32	891,65	892,63	893,32	894,40	894,76
	3		895,55	899,04	900,07	901,45	902,43	904,52	905,83	906,78	907,50	908,68	909,08
Z _{10%}	1	Cilindro 7853,98	835,28	837,50	838,24	839,19	840,10	842,38	844,15	845,77	847,00	849,45	850,32
	2		827,69	830,05	830,80	831,64	832,57	834,84	836,64	838,23	839,47	841,96	842,91
	3		844,13	846,31	846,95	847,69	848,43	850,28	851,75	853,04	854,06	856,06	856,84
Z _{15%}	1	Cilindro 7853,98	832,88	835,38	836,03	837,01	837,76	839,33	840,62	841,60	843,32	844,62	845,29
	2		846,91	849,31	850,16	851,16	851,89	853,55	854,75	855,71	857,44	859,04	859,64
	3		839,22	841,30	842,02	842,75	843,52	844,66	845,59	846,34	847,66	848,71	849,20
A _{10%}	1	Cilindro 7853,98	874,51	876,41	877,00	877,70	878,51	880,40	882,03	883,44	884,68	887,00	887,94
	2		878,1	880,79	881,46	882,92	884,03	886,85	889,04	890,80	892,13	894,44	895,30
	3		878,09	880,36	881,27	882,40	883,47	886,26	888,43	890,24	891,72	894,28	895,27
A _{15%}	1	Cilindro 7853,98	858,27	859,20	859,58	860,12	860,60	861,76	862,66	863,43	864,94	866,14	866,73
	2		867,68	868,69	869,14	869,75	870,27	871,53	872,51	873,35	875,00	876,24	876,78
	3		871,63	872,48	872,80	873,28	873,77	876,64	875,39	876,07	877,27	878,28	878,70
Θ _{10%}	1	Cilindro 7853,98	863,4	865,24	865,85	866,90	867,81	870,13	871,93	873,43	874,61	876,66	877,40
	2		877,7	879,30	879,70	880,47	881,06	882,82	884,02	885,23	886,26	888,21	888,96
	3		866,2	868,25	869,04	870,01	870,94	873,21	874,98	876,41	877,55	879,57	880,32
Θ _{15%}	1	Cilindro 7853,98	855,4	856,24	856,57	857,01	857,42	858,43	859,54	859,91	861,27	862,31	862,91
	2		858,61	859,52	859,83	860,21	860,57	861,45	862,17	862,81	864,11	865,03	865,42
	3		845,93	846,57	846,82	847,14	847,50	848,30	848,96	849,54	850,76	851,63	852,05

Leitura da massa dos provetes no ensaio de absorção de água por capilaridade para as argamassas leves.

Provete	Forma	Área base (mm ²)	Peso dos provetes (g) ao longo do tempo de absorção (min.)										
			Peso Seco	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270
CTL	1	cúbica	10000	826,11	828,97	830,25	832,01	832,99	835,24	836,89	838,36	840,51	842,84
	2			859,62	862,37	863,65	865,70	866,76	868,35	869,80	871,00	872,96	874,60
	3			935,66	938,79	940,12	941,32	942,14	944,34	945,71	947,03	949,45	951,13
SF _{10%}	1	cúbica	10000	900,44	902,77	903,81	904,26	904,89	905,76	906,11	906,85	907,76	908,31
	2			913,17	915,37	916,22	917,39	917,43	918,71	919,39	920,04	920,99	922,09
	3			845,16	847,61	848,46	849,73	850,17	851,25	852,04	852,50	853,57	854,31
E _{10%}	1	cúbica	10000	847,6	850,41	851,13	851,92	853,45	854,98	856,37	857,66	859,54	861,25
	2			822,41	825,16	826,07	827,19	828,13	830,28	831,89	833,25	835,46	837,34
	3			926	928,51	929,63	930,46	931,36	933,46	935,02	936,37	938,62	940,64
A _{10%}	1	cúbica	10000	930,03	933,60	935,15	936,83	938,40	942,18	944,91	947,18	951,08	953,71
	2			847,24	850,72	852,26	854,03	855,76	859,58	862,53	865,10	869,37	872,28
	3			829,99	832,66	833,82	835,45	836,31	839,14	841,33	843,21	846,20	849,04
Θ _{10%}	1	cúbica	10000	873,7	877,06	878,33	880,10	881,52	884,59	887,21	888,78	892,22	894,42
	2			824,48	827,74	828,57	829,88	830,85	833,11	835,15	836,96	839,91	842,53
	3			910,16	912,58	913,73	914,92	916,15	918,07	919,76	921,22	923,78	925,75

Leitura da profundidade de carbonatação para as argamassas com areia normalizada.

	CTL	SF _{10%}	Z _{10%}	Z _{15%}	A _{10%}	A _{15%}	θ _{10%}	θ _{15%}
Profundidade Carbonatação (mm)	3,0	5,0	6,0	7,0	4,5	5,5	3,5	5,0
	3,0	4,5	5,5	6,5	3,0	6,5	4,5	6,0
		5,0	5,5	3,5	3,0	5,0	4,0	6,0
			6,5					
Média (mm)	3.0 ± 0.0	4.8 ± 0.3	5.9 ± 0.5	57 ± 19	3.5 ± 0.9	5.7 ± 0.8	4.0 ± 0.5	5.7 ± 0.6

Leitura da profundidade de carbonatação para as argamassas leves.

	CTL	SF10%	E10%	A10%	Θ10%
Profundidade Carbonatação (mm)	9,5	12,5	13,5	12,5	9,5
	6,5	11,5	11,0	9,5	12,0
	11,0	12,0	11,5	13,0	10,5
		12,0	13,5		9,0
Média (mm)	9.0 ± 2.3	12.0 ± 0.4	12.4 ± 1.3	11.7 ± 1.9	10.3 ± 1.3

FÁBRICA: MACEIRA
BOLETIM Nº 12
DATA: 14.02.2007
REFERÊNCIA: Cimento * CEM I 42,5 R
Resultados Referentes a Dezembro
ENSAIOS MECÂNICOS [NP EN 196-1]

IDADE	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	FLEXÃO		COMPRESSÃO	
	MENSAL	ANUAL	MENSAL	ANUAL
2 dias	5,7	6,0	28,6	30,5
7 dias	7,6	7,7	39,9	41,8
28 dias	8,9	8,8	51,6	52,7

ENSAIOS FÍSICOS

		MENSAL	ANUAL
Peso Específico (g/cm ³)		3,15	3,15
Resíduo de Peneiração (%)	90 µm	0,23	0,14
	63 µm		0,43
	45 µm	1,53	1,24
	32 µm		3,44
Superfície Específica de Blaine (cm ² /g) [NP EN 196-6]		4722	4481
Água na Pasta Normal (%) [NP EN 196-3]		30,0	30,5
Tempo de Presa (min) [NP EN 196-3]	Início	163	152
	Fim	224	209
Expansibilidade (mm) [NP EN 196-3]		1,38	1,24
Índice de Brancura (0 a 100)			30,60

ANÁLISE QUÍMICA

			MENSAL	ANUAL
PERDA AO FOGO	%	P.F.	3,18	2,85
RESÍDUO INSOLÚVEL	%	R.I.	1,08	1,12
ÓXIDO DE SILÍCIO	%	SiO ₂	20,40	20,41
ÓXIDO DE ALUMÍNIO	%	Al ₂ O ₃	4,08	4,74
ÓXIDO DE FERRO	%	Fe ₂ O ₃	3,12	3,08
ÓXIDO DE CÁLCIO	%	CaO	61,74	62,28
ÓXIDO DE MAGNÉSIO	%	MgO	2,12	1,90
SULFATOS	%	SO ₃	3,15	3,11
ÓXIDO DE POTÁSSIO	%	K ₂ O		
ÓXIDO DE SÓDIO	%	Na ₂ O		
CLORETOS	%	Cl ⁻	0,0090	0,0146
CAL LIVRE	%		1,01	1,01
N/D (não Doseados)	%			

OBSERVAÇÕES:

ANUAL - Valor médio dos últimos 12 meses.

NOTA: todos os parâmetros são determinados por métodos internos com excepção dos que indicam a [norma aplicada].

VISTO

APROVADO


Result Analysis Report

Sample Name:
Background com Ethanol - Nuno Moreira

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
snunes

Result Source:
Measurement

Measured:

terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 10:39:46

Analysed:

terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 10:39:48

Particle Name:
Cement 1.0

Particle RI:
1.680

Dispersant Name:
Ethanol

Accessory Name:
Hydro 2000S (A)

Absorption:
1

Dispersant RI:
1.360

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:
0.576 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
16.12 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0117 %Vol

Span :
2.678

Uniformity:
0.845

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
1.11 m^2/g

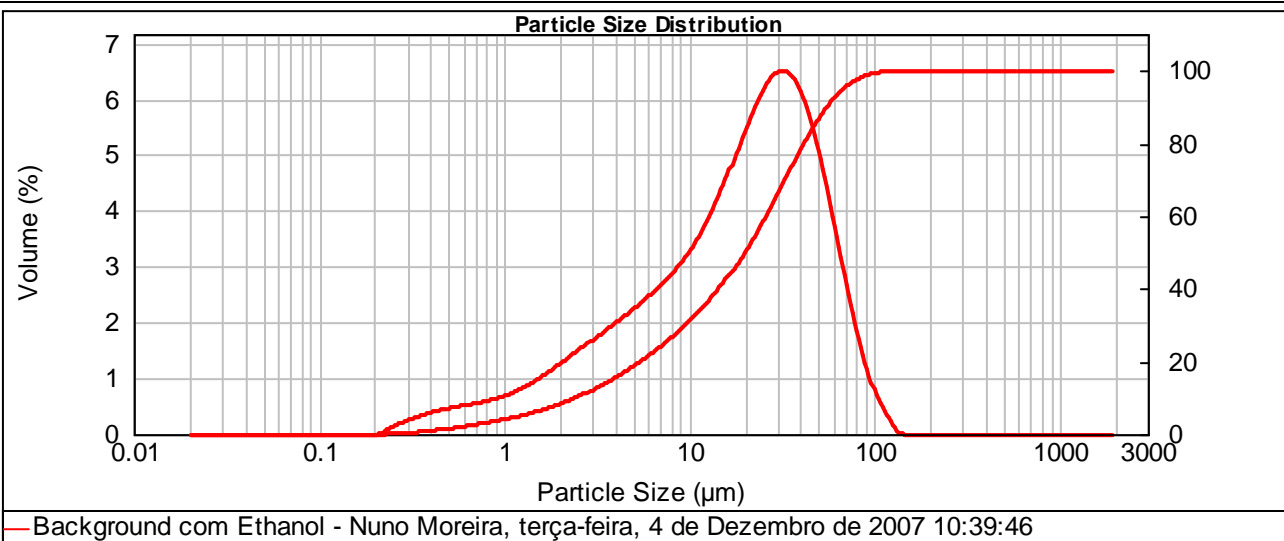
Surface Weighted Mean D[3,2]:
5.409 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
25.182 μm

d(0.1): 2.429 μm

d(0.5): 19.912 μm

d(0.9): 55.760 μm



Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00
0.011	0.00
0.013	0.00
0.015	0.00
0.017	0.00
0.020	0.00
0.023	0.00
0.026	0.00
0.030	0.00
0.035	0.00
0.040	0.00
0.046	0.00
0.052	0.00
0.060	0.00
0.069	0.00
0.079	0.00
0.091	0.00
0.105	0.00

Size (μm)	Volume In %
0.105	0.00
0.120	0.00
0.138	0.00
0.158	0.00
0.182	0.00
0.209	0.03
0.240	0.14
0.275	0.21
0.316	0.28
0.363	0.33
0.417	0.38
0.479	0.42
0.550	0.46
0.631	0.49
0.724	0.53
0.832	0.57
0.955	0.63
1.096	0.70

Size (μm)	Volume In %
1.096	0.70
1.259	0.79
1.445	0.90
1.660	1.02
1.905	1.15
2.188	1.28
2.512	1.42
2.884	1.55
3.311	1.69
3.802	1.82
4.365	1.96
5.012	2.10
5.754	2.26
6.607	2.42
7.586	2.60
8.710	2.82
10.000	3.08
11.482	3.39

Size (μm)	Volume In %
11.482	3.39
13.183	3.77
15.136	4.20
17.378	4.67
19.953	5.13
22.909	5.53
26.303	5.79
30.200	5.88
34.674	5.73
39.811	5.33
45.709	4.71
52.481	3.92
60.256	3.05
69.183	2.18
79.433	1.41
91.201	0.79
104.713	0.38
120.226	0.08

Size (μm)	Volume In %
120.226	0.08
138.038	0.00
158.489	0.00
181.970	0.00
208.930	0.00
239.883	0.00
275.423	0.00
316.228	0.00
363.078	0.00
416.869	0.00
478.630	0.00
549.541	0.00
630.957	0.00
724.436	0.00
831.764	0.00
954.993	0.00
1096.478	0.00
1258.925	0.00

Size (μm)	Volume In %
1258.925	0.00
1445.440	0.00
1659.587	0.00
1905.461	0.00
2187.762	0.00
2511.886	0.00
2884.032	0.00
3311.311	0.00
3801.894	0.00
4365.158	0.00
5011.872	0.00
5754.399	0.00
6606.934	0.00
7585.776	0.00
8709.636	0.00
10000.000	0.00

Operator notes:

SikaFume® S 92 D

Adição à base de sílica de fumo

Descrição do produto

É uma adição à base de sílica de fumo que se utiliza para aumentar a coesão do betão fresco e, no betão endurecido, para aumentar as resistências mecânicas e a resistência a agentes agressivos.

Utilizações

- Betão estrutural de elevado desempenho.
- Betão bombado.
- Betão projectado (via seca ou via húmida).
- Betão resistente a agentes agressivos.

Características / Vantagens

Contém partículas microscópicas (0,1 µm) de dióxido de silício potencialmente reactivo. A presença destas partículas aumenta a retenção de água no betão fresco. No betão endurecido a sílica de fumo reactiva combina-se com a cal livre aumentando assim a sua resistência mecânica e a resistência a agentes agressivos.

Aumenta a resistência química aos cloretos, sulfatos, ácidos, ciclos de gelo-degelo e reacção álcali-agregado.

Não contém cloretos nem outras substâncias que influenciem negativamente a durabilidade do betão armado.

Betão bombado:

- Melhor coesão.
- Redução do consumo de energia na bombagem.
- Maior densidade e compactidade.
- Altas resistências mecânicas.

Betão projectado:

- Maior densidade.
- Redução das perdas por ricochete.
- Alta resistência aos sulfatos.
- Altas resistências mecânicas.

Dados do produto

Aspecto / Cor

Pó cinzento.

Fornecimento

Sacos de 20 kg.

Armazenagem e conservação

Armazenar o produto nas embalagens de origem não encetadas e não deterioradas. Em local seco, ao abrigo da geada e a temperaturas entre +5 °C e +30 °C. Tem uma validade de 1 ano a partir da data de fabrico.

Dados técnicos

Base química

Sílica de fumo densificada.



Informação sobre o sistema

Pormenores de aplicação

Consumo / Dosagem

Betão de elevada durabilidade e resistência:
■ Aprox. 10% sobre o peso do cimento.

Betão corrente:
■ Aprox. 5 a 10% sobre o peso do cimento.

Betão projectado:
■ Aprox. 5% sobre o peso do cimento.

No caso do betão projectado por via húmida deve usar-se sempre em combinação com um superplastificante. Por via seca não é necessário essa adição.

Instruções de aplicação

Mistura

SikaFume® S 92 D deve impreterivelmente ser misturado com os outros componentes do betão antes da introdução da água de amassadura. Posteriormente deve adicionar-se um superplastificante em conjunto com a água de amassadura. A quantidade de água deve ser ajustada para a consistência final desejada.

Aplicação

SikaFume® S 92 D permite o fabrico de betão de qualidade, consequentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a colocação e a cura do betão.

Compatibilidade

SikaFume® S 92 D é compatível com a maioria dos adjuvantes Sika. Recomenda-se sempre a realização de ensaios prévios.

Limpeza de ferramentas

Com água.

Importante

Após a colocação, proteger o betão fresco contra a dessecação prematura. Uma cura cuidadosa é indispensável: recomenda-se o uso de Antisol®. Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika.

Nota

Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaio realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.

Risco e segurança

Medidas de segurança

Em caso de formação de poeira, utilizar máscara para poeira fina.
Em caso de irritação persistente após contacto com a pele procurar um médico.
Em caso de contacto com os olhos, enxaguar imediatamente com muita água durante 15 minutos. Consultar imediatamente o médico.
Em caso de ingestão, não provocar vômitos. Consultar médico imediatamente.
Para mais informações consultar a Ficha de Dados de Segurança do produto e o respectivo rótulo.

"O produto está seguro na Cª Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nº CH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que pedida.



Sika Portugal, SA
R. de Santarém, 113 Tel. +351 22 377 69 00
4400-292 V. N. Gaia Fax +351 22 370 20 12
Portugal www.sika.pt



Implementado na fábrica de Óvar

Result Analysis Report

Sample Name:
Background com Ethanol - Nuno Moreira

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
snunes

Result Source:
Measurement

Measured:
terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:38:56

Analysed:
terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:38:57

Particle Name:
Cement 1.0

Particle RI:
1.680

Dispersant Name:
Ethanol

Accessory Name:
Hydro 2000S (A)

Absorption:
1

Dispersant RI:
1.360

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:
0.136 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
18.06 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0673 %Vol

Span :
4.404

Uniformity:
1.46

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.235 m^2/g

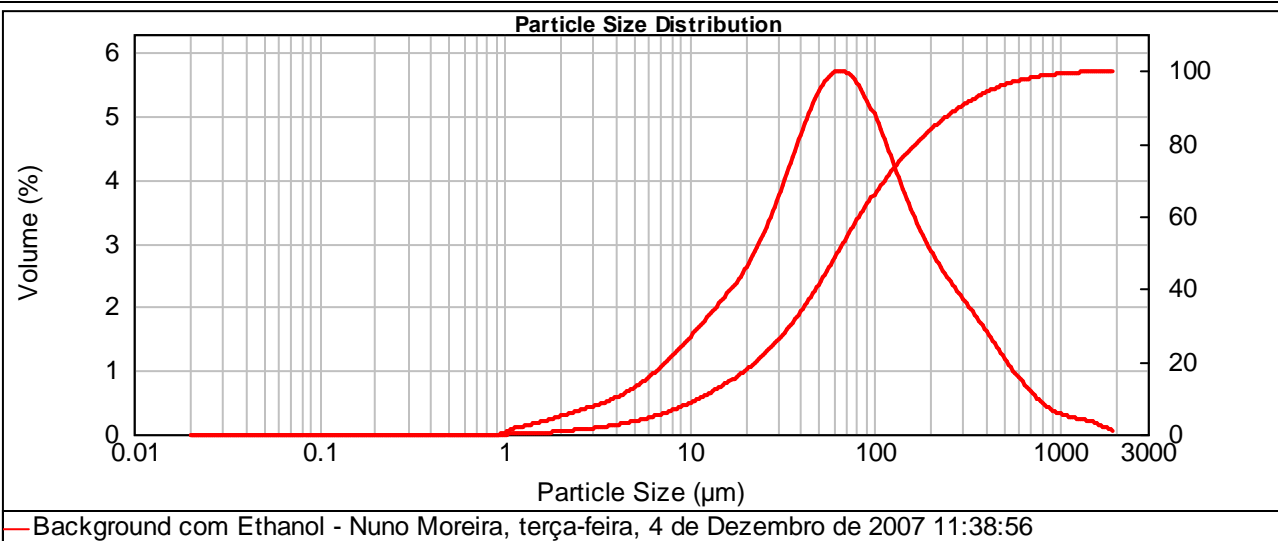
Surface Weighted Mean D[3,2]:
25.524 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
123.227 μm

d(0.1): 11.622 μm

d(0.5): 63.879 μm

d(0.9): 292.941 μm



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.10	11.482	1.62	120.226	3.77	1258.925	0.20
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.13	13.183	1.80	138.038	3.35	1445.440	0.16
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.17	15.136	2.00	158.489	2.99	1659.587	0.09
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.21	17.378	2.22	181.970	2.67	1905.461	0.03
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.26	19.953	2.48	208.930	2.40	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.30	22.909	2.79	239.883	2.17	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.35	26.303	3.16	275.423	1.96	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.40	30.200	3.58	316.228	1.75	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.46	34.674	4.02	363.078	1.53	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.53	39.811	4.44	416.869	1.30	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.61	45.709	4.80	478.630	1.07	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.71	52.481	5.05	549.541	0.84	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.83	60.256	5.15	630.957	0.63	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.96	69.183	5.10	724.436	0.47	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	1.11	79.433	4.90	831.764	0.35	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	1.27	91.201	4.58	954.993	0.28	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.03	10.000	1.44	104.713	4.19	1096.478	0.24		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
Background com Ethanol - Nuno Moreira

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
snunes

Result Source:
Measurement

Measured:

terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:03:03

Analysed:

terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:03:04

Particle Name:
Cement 1.0

Particle RI:
1.680

Dispersant Name:
Ethanol

Accessory Name:
Hydro 2000S (A)

Absorption:
1

Dispersant RI:
1.360

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:
0.097 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
14.64 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0616 %Vol

Span :
2.896

Uniformity:
1.02

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.205 m^2/g

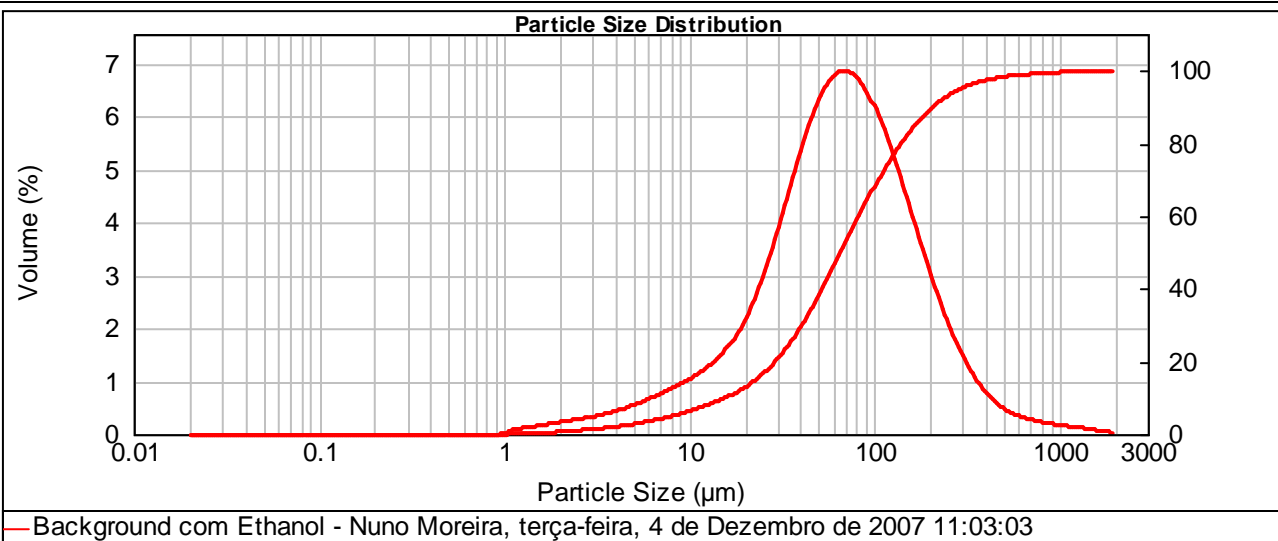
Surface Weighted Mean D[3,2]:
29.264 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
101.573 μm

d(0.1): 15.627 μm

d(0.5): 65.934 μm

d(0.9): 206.564 μm



Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00
0.011	0.00
0.013	0.00
0.015	0.00
0.017	0.00
0.020	0.00
0.023	0.00
0.026	0.00
0.030	0.00
0.035	0.00
0.040	0.00
0.046	0.00
0.052	0.00
0.060	0.00
0.069	0.00
0.079	0.00
0.091	0.00
0.105	0.00

Size (μm)	Volume In %
0.105	0.00
0.120	0.00
0.138	0.00
0.158	0.00
0.182	0.00
0.209	0.00
0.240	0.00
0.275	0.00
0.316	0.00
0.363	0.00
0.417	0.00
0.479	0.00
0.550	0.00
0.631	0.00
0.724	0.00
0.832	0.00
0.955	0.00
1.096	0.03

Size (μm)	Volume In %
1.096	0.09
1.259	0.12
1.445	0.14
1.660	0.17
1.905	0.21
2.188	0.24
2.512	0.27
2.884	0.31
3.311	0.35
3.802	0.40
4.365	0.46
5.012	0.53
5.754	0.61
6.607	0.70
7.586	0.79
8.710	0.88
10.000	0.99
11.482	

Size (μm)	Volume In %
11.482	1.11
13.183	1.27
15.136	1.49
17.378	1.78
19.953	2.16
22.909	2.64
26.303	3.21
30.200	3.84
34.674	4.49
39.811	5.10
45.709	5.62
52.481	5.99
60.256	6.17
69.183	6.17
79.433	5.99
91.201	5.66
104.713	5.20
120.226	

Size (μm)	Volume In %
120.226	4.66
138.038	4.06
158.489	3.45
181.970	2.85
208.930	2.31
239.883	1.81
275.423	1.39
316.228	1.04
363.078	0.77
416.869	0.57
478.630	0.42
549.541	0.32
630.957	0.26
724.436	0.21
831.764	0.18
954.993	0.15
1096.478	0.13
1258.925	

Size (μm)	Volume In %
1258.925	0.10
1445.440	0.07
1659.587	0.04
1905.461	0.01
2187.762	0.00
2511.886	0.00
2884.032	0.00
3311.311	0.00
3801.894	0.00
4365.158	0.00
5011.872	0.00
5754.399	0.00
6606.934	0.00
7585.776	0.00
8709.636	0.00
10000.000	0.00

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
Background com Ethanol - Nuno Moreira

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
snunes

Result Source:
Measurement

Measured:
terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:11:03

Analysed:
terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:11:04

Particle Name:
Cement 1.0

Particle RI:
1.680

Dispersant Name:
Ethanol

Accessory Name:
Hydro 2000S (A)

Absorption:
1

Dispersant RI:
1.360

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:
0.108 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
18.41 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0850 %Vol

Span :
2.967

Uniformity:
0.964

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.191 m^2/g

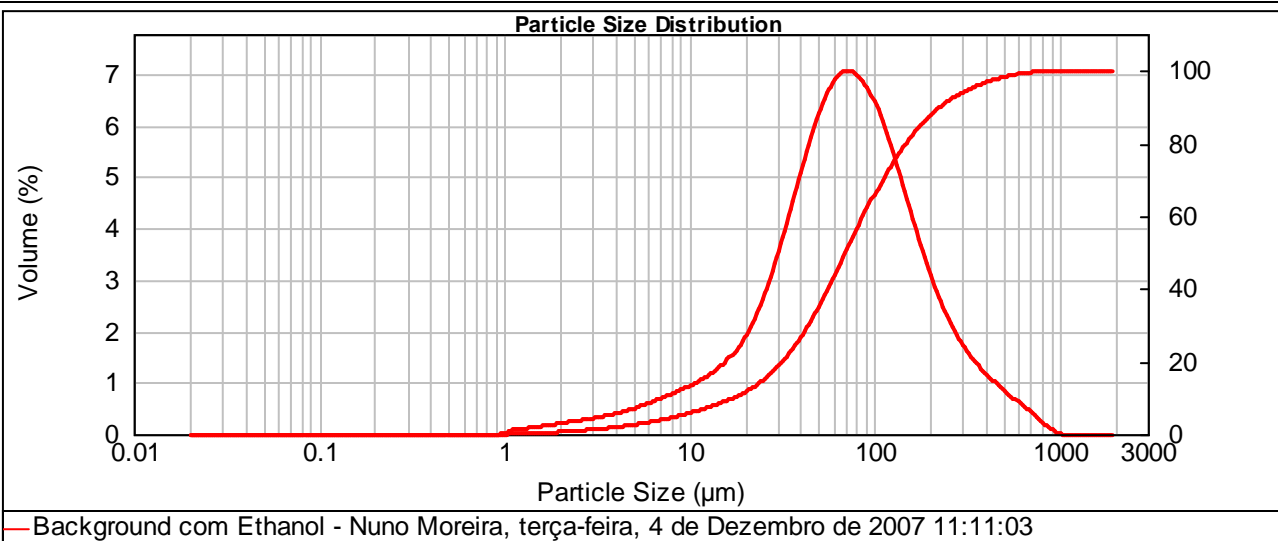
Surface Weighted Mean D[3,2]:
31.378 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
104.918 μm

d(0.1): 17.287 μm

d(0.5): 70.426 μm

d(0.9): 226.242 μm



Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00
0.011	0.00
0.013	0.00
0.015	0.00
0.017	0.00
0.020	0.00
0.023	0.00
0.026	0.00
0.030	0.00
0.035	0.00
0.040	0.00
0.046	0.00
0.052	0.00
0.060	0.00
0.069	0.00
0.079	0.00
0.091	0.00
0.105	0.00

Size (μm)	Volume In %
0.105	0.00
0.120	0.00
0.138	0.00
0.158	0.00
0.182	0.00
0.209	0.00
0.240	0.00
0.275	0.00
0.316	0.00
0.363	0.00
0.417	0.00
0.479	0.00
0.550	0.00
0.631	0.00
0.724	0.00
0.832	0.00
0.955	0.00
1.096	0.02

Size (μm)	Volume In %
1.096	0.09
1.259	0.10
1.445	0.13
1.660	0.16
1.905	0.19
2.188	0.22
2.512	0.25
2.884	0.29
3.311	0.32
3.802	0.37
4.365	0.42
5.012	0.48
5.754	0.55
6.607	0.63
7.586	0.71
8.710	0.80
10.000	0.89
11.482	0.99

Size (μm)	Volume In %
11.482	0.99
13.183	1.13
15.136	1.30
17.378	1.55
19.953	1.89
22.909	2.33
26.303	2.88
30.200	3.52
34.674	4.22
39.811	4.90
45.709	5.52
52.481	6.00
60.256	6.30
69.183	6.38
79.433	6.25
91.201	5.92
104.713	5.42
120.226	4.82

Size (μm)	Volume In %
120.226	4.82
138.038	4.16
158.489	3.52
181.970	2.91
208.930	2.39
239.883	1.96
275.423	1.61
316.228	1.34
363.078	1.12
416.869	0.93
478.630	0.75
549.541	0.58
630.957	0.42
724.436	0.24
831.764	0.10
954.993	0.00
1096.478	0.00
1258.925	0.00

Size (μm)	Volume In %
1258.925	0.00
1445.440	0.00
1659.587	0.00
1905.461	0.00
2187.762	0.00
2511.886	0.00
2884.032	0.00
3311.311	0.00
3801.894	0.00
4365.158	0.00
5011.872	0.00
5754.399	0.00
6606.934	0.00
7585.776	0.00
8709.636	0.00
10000.000	0.00

Operator notes:

Ficha de Produto
Edição de Julho 2007
Nº de identificação: 1.38 R
Versão nº 7
Sika® ViscoCrete® 3000

Sika® ViscoCrete® 3000

Adjuvante para betão

Descrição do produto

Sika® ViscoCrete® 3000 é um adjuvante superplastificante/forte redutor de água para betão de acordo com a norma NP EN 934-2:T3.1/3.2.
Sika® ViscoCrete® 3000 é um superplastificante da terceira geração para betão.

Utilizações

Sika® ViscoCrete® 3000 é indicado para betão pronto industrial e também para betão fabricado no estaleiro, quando o betão necessita de transporte longo ou para betonagens demoradas. As propriedades do betão dependem do teor do ligante e dos agregados, da relação água/cimento no betão fresco e da dosagem do adjuvante.

Sika® ViscoCrete® 3000 é usado para os seguintes tipos de betão:

- Betão com transporte longo (mantendo a consistência) e betonagens demoradas.
- Máxima redução de água de amassadura.
- Altas resistências.
- Betão autocompactável (BAC).

Características / Vantagens

Sika® ViscoCrete® 3000 confere uma óptima dispersão do ligante e ao mesmo tempo melhora a sua coesão, mantendo o betão com uma consistência branda. **As propriedades do betão com Sika® ViscoCrete® 3000 podem ser resumidas como se segue:**

- Extremamente alta redução da água de amassadura (resultando daí alta densidade e impermeabilidade do betão endurecido).
- Excelente fluidez (resultando daí muito menos dificuldades e esforço na betonagem, quer na colocação, quer na compactação).
- Adequado para a produção de betão autocompactável (BAC).
- Melhor comportamento à retracção e à fluência.
- O betão carbonata mais lentamente.
- É isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.

Certificados / Boletins de ensaio

Conforme as especificações da Norma NP EN 934-2: T3.1/3.2.

Dados do produto

Aspecto / Cor

Líquido levemente amarelado; são possíveis pequenas diferenças de tom, sem influência sobre o desempenho do adjuvante.

Fornecimento

210 kg (200 litros); 1.050 kg (1m³); granel.

Armazenagem e conservação

Armazenar o produto nas embalagens de origem não encetadas e não deterioradas, ao abrigo da radiação directa do sol e da geada, a temperaturas entre +5°C e +35°C. Conserva-se 15 meses a partir da data de fabrico.



Dados técnicos

Base química Carboxilatos modificados.

**Massa volúmica
(23 ± 2°C)** 1,05 ± 0,02 kg/dm³.

pH (23 ± 2°C) 5,0 ± 1,0.

Teor de sólidos 18,5 ± 1,5%.

Teor em iões cloreto < 0,1%.

Informação sobre o Sistema

Pormenores de aplicação

Consumo / Dosagem

Dosagens recomendadas:

- Betão de consistência plástica: 0,5% a 1,2% sobre o peso do cimento, o que em volume equivale aprox. a 0,5 a 1,1 litros para 100 kg de cimento.
- Betão fluido e betão autocompactável (BAC): 1,0% a 2,0% sobre o peso do cimento, o que em volume equivale aprox. a 1,0 a 1,9 litros para 100 kg de cimento.

Mistura

Se for possível, deverá preparar-se o betão com apenas cerca de $\frac{2}{3}$ da água prevista e adicionar então o adjuvante misturando energicamente cerca de 1 minuto/m³; só então será adicionada mais alguma água até à consistência desejada. Este processo conduz ao aproveitamento máximo do adjuvante e permite controlar convenientemente a razão água/ligante. Se o processo não for viável, então adicionar o produto à água de amassadura previamente determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea.

É importante garantir um tempo mínimo de 1,5 a 2 minutos de amassadura, para obter o efeito pleno do adjuvante.

Nunca adicionar o adjuvante ao cimento ou agregados, em seco (redução de eficácia).

É possível a adição na autobetoneira desde que seja garantida a uniformidade do betão.

No caso de ser efectuada uma redosagem em obra, deve haver o cuidado de homogeneizar bem o adjuvante na massa do betão. Para isso, recomenda-se uma muito pequena adição de água no recipiente que contém o adjuvante, apenas para reduzir a sua viscosidade e facilitar a sua boa incorporação. O betão deve ser "puxado" acima e o adjuvante deve ser adicionado lentamente, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário, inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneização. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.

Aplicação

Sika® ViscoCrete® 3000 permite o fabrico de betão de qualidade, consequentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a betonagem e a cura do betão.

Compatibilidade

Sika® ViscoCrete® 3000 pode ser combinado com os seguintes produtos:

- Sika® FerroGard® 901.
- Sika® Pump.
- Sika® Rapid.
- Sikacrete®.

Recomenda-se sempre a realização de ensaios prévios.

Limpeza de ferramentas

Com água.

Importante

Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante e sempre que se altere os componentes do betão ou a própria composição.
Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a empregar-se.
Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico da Sika.

Nota

Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaios realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.

Risco e segurança**Medidas de segurança**

Preparação não perigosa. Quando em contacto com a pele, lavar com água e sabão. No caso de contacto accidental com os olhos ou mucosas, lavar imediatamente com muita água morna e consultar um especialista.
Para mais informações consultar a Ficha de Dados de Segurança do produto e o respectivo rótulo.

"O produto está seguro na Cª Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nº CH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que pedida.



Sika Portugal, SA
R. de Santarém, 113
4400-292 V. N. Gaia
Portugal

Tel. +351 22 377 69 00
Fax +351 22 370 20 12
www.sika.pt



Implementado na fábrica de Ovar

Result Analysis Report

Sample Name:
Background com Ethanol - Nuno Moreira

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
snunes

Result Source:
Measurement

Measured:
terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:31:20

Analysed:
terça-feira, 4 de Dezembro de 2007 11:31:21

Particle Name:
Cement 1.0

Particle RI:
1.680

Dispersant Name:
Ethanol

Accessory Name:
Hydro 2000S (A)

Absorption:
1

Dispersant RI:
1.360

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Weighted Residual:
0.133 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
18.36 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.1669 %Vol

Specific Surface Area:
0.0996 m²/g

Span :
2.453

Surface Weighted Mean D[3,2]:
60.239 um

Uniformity:
0.768

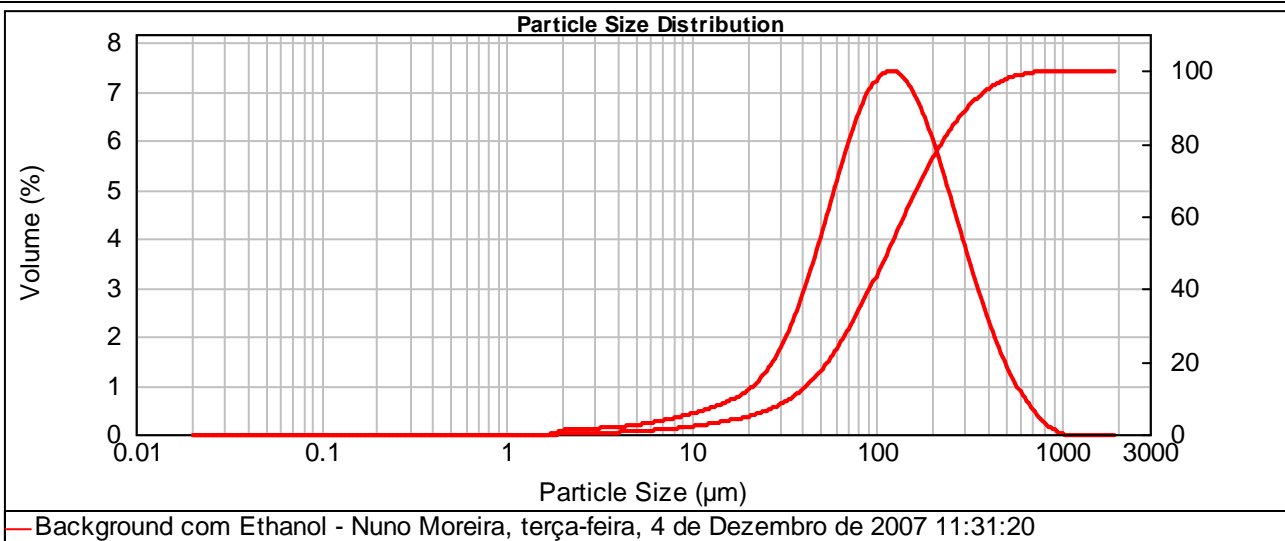
Vol. Weighted Mean D[4,3]:
150.346 um

Result units:
Volume

d(0.1): 34.702 um

d(0.5): 113.942 um

d(0.9): 314.228 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.46	120.226	6.67	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.53	138.038	6.46	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.61	158.489	6.08	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.73	181.970	5.56	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.07	19.953	0.88	208.930	4.94	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.08	22.909	1.10	239.883	4.27	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.10	26.303	1.40	275.423	3.58	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.11	30.200	1.79	316.228	2.91	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.12	34.674	2.28	363.078	2.29	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.14	39.811	2.86	416.869	1.73	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.16	45.709	3.52	478.630	1.24	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.18	52.481	4.21	549.541	0.83	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.21	60.256	4.91	630.957	0.51	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.25	69.183	5.56	724.436	0.25	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.30	79.433	6.10	831.764	0.10	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.35	91.201	6.49	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.40	104.713	6.68	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



Sede: Rua da Capela, s/n Moinho de Almocharife
3130-122 SAMUEL PORTUGAL
Tel. / Fax: 239 675 767 - Telemóvel.: 962 962 050
Email: cincas.lda@sapo.pt

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

- **Nome do Produto:** Cinza de casca de arroz.

2. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO

- **Natureza Química:** Mineral (98,92%).

- **Composição:**

Alumínio	0,052 %
Cálcio	0,220 %
Dióxido de Silício	89,80 %
Enxofre	0,160 %
Fósforo Total	0,160 %
Magnésio	0,072 %
Nitrogénio Total	0,760 %
Potássio	0,830 %
Sódio	0,026 %

Carbono Orgânico	1,080 %
------------------	---------

- **Características Físicas:**

Densidade	0,454 g/cm ³
Solubilidade	0,1g / 100g H ₂ O
Humidade (105 °C)	0,23 %
Granulometria	99,30 % < 2,00 mm
	94,00 % < 0,30 mm

3. IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS

- **Perigos com relação ao manuseamento e uso:** Sob condições normais, não há nenhum risco a considerar na temperatura ambiente.
- **Efeitos adversos à saúde humana:** Sob condições normais, não há nenhum risco a considerar.
- **Efeitos ambientais:** Não apresenta problemas em relação ao solo e a atmosfera. Não deve ser armazenado em locais sujeitos a intempéries climáticas, apresenta baixo nível de solubilidade em água.

Sede: Rua da Capela, s/n Moinho de Almocharife
3130-122 SAMUEL PORTUGAL
Tel. / Fax: 239 675 767 - Telemóvel.: 962 962 050
Email: cincas.lda@sapo.pt

4. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido, baixa capacidade de retenção de humidade, é leve.
- **Cor:** Preta.
- **Odor:** Odor característico.
- **PH:** Levemente alcalino.
- **Solubilidade:** Baixa solubilidade em água.

5. CONTROLO DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

- **Biológico:** Não há, livre de patogénicos devido ao processo de carbonização.
- **Respiratório:** Não há, para o produto à temperatura ambiente. O uso de máscara é recomendado.
- **Das mãos:** Não há, para o produto à temperatura ambiente.
- **Dos olhos:** Não há, recomenda-se o uso de óculos de segurança tipo ampla visão.

6. ESTABILIDADE E REATIVIDADE

- **Condição:** Estável e estéril.

7. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

- **Efeitos ambientais, comportamento e impactos:**
 - **Mobilidade:** Baixa, devido à baixa solubilidade em água.
 - **Degradabilidade:** *Parcialmente biodegradável.*
 - **Eco toxicidade:** Não é tóxico, utilizado como substrato para propagação de plantas.

9. REGULAMENTAÇÕES

- **Regulamentação:** Não é classificado como produto perigoso de acordo com as directrizes europeias de classificação de produtos perigosos e preparações. Nenhum rótulo é necessário.



Sede: Rua da Capela, s/n Moinho de Almocharife
3130-122 SAMUEL PORTUGAL
Tel. / Fax: 239 675 767 - Telemóvel.: 962 962 050
Email: cincas.lda@sapo.pt

Os dados dessa ficha referem-se ao produto específico e podem não ser validos onde esse produto estiver a ser usado em combinação com outros.

A elaboração desta ficha não significa estabelecer informações absolutas e definitivas sobre o produto e seus riscos, mas subsidiar com informações, funcionários e clientes quanto à protecção individual, colectiva e preservação do meio ambiente.

